

PATENT ABSTRACTS OF JAP

(11)Publication number : 11-324767

(43)Date of publication of application : 26.11.1999

(51)Int.Cl.

F02D 41/14
 G05B 13/00
 G05B 13/02
 G05B 13/04
 // G05B 11/36

(21)Application number : 10-130864

(71)Applicant : HONDA MOTOR CO LTD

(22)Date of filing : 13.05.1998

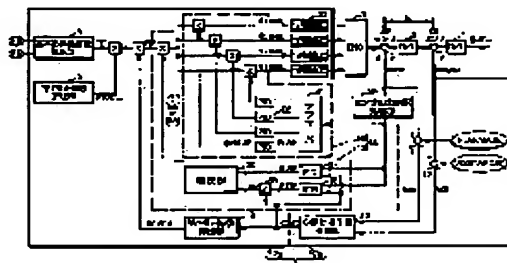
(72)Inventor : YASUI YUJI

AKASAKI NAOSUKE
 IWAKI YOSHIHISA

(54) AIR-FUEL RATIO CONTROL SYSTEM FOR INTERNAL COMBUSTION ENGINE, AND PLANT CONTROL SYSTEM**(57)Abstract:**

PROBLEM TO BE SOLVED: To stabilize air-fuel ratio or plant control highly accurately by compensating for dead times.

SOLUTION: For convergence to a target value, for example, the convergence of the output of an O₂ sensor 6 on the downstream side of a catalyst device 3, an exhaust control unit 7a for deciding a target air-fuel ratio KCMD for an engine 1 sequentially estimates the output of the O₂ sensor 6 after a total dead time or the sum of a dead time in an exhaust system E including the catalyst device 3 and that in an engine control unit 7b for controlling the engine 1 and the air-fuel ratio of the engine 1 on the basis of the target air-fuel ratio KCMD, and uses these estimates to decide the target air-fuel ratio KCMD of the engine 1. A plant provided with an actuator control means 7a similarly decides a manipulated variable on the basis of output estimates after the sum total of a dead time in the plant and that in an actuator 1.

**LEGAL STATUS**

[Date of request for examination] 26.04.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3484074

[Date of registration] 17.10.2003

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-324767

(43) 公開日 平成11年(1999)11月26日

(51) Int.Cl. ⁸	識別記号	F I	
F 0 2 D 41/14	3 1 0	F 0 2 D 41/14	3 1 0 A
			3 1 0 F
G 0 5 B 13/00		G 0 5 B 13/00	A
13/02		13/02	C
13/04		13/04	

審査請求 未請求 請求項の数29 O L (全 40 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平10-130864

(22) 出願日 平成10年(1998) 5月13日

(71) 出願人 000005326

本田技研工業株式会社

東京都港区南青山二丁目1番1号

(72) 発明者 安井 裕司

埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会
社本田技術研究所内

(72) 発明者 赤崎 修介

埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会
社本田技術研究所内

(72) 発明者 岩城 喜久

埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会
社本田技術研究所内

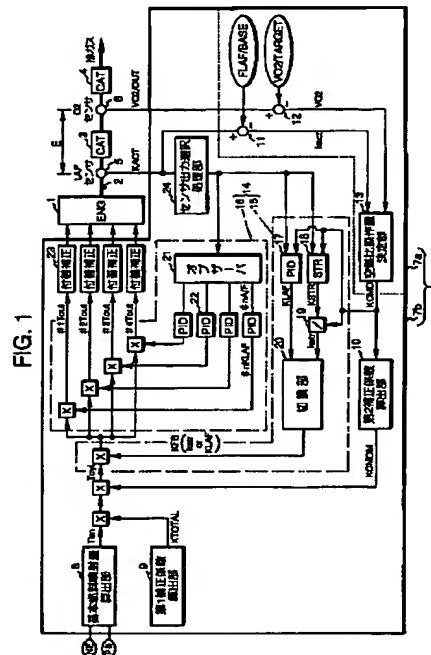
(74) 代理人 弁理士 佐藤 辰彦 (外1名)

(54) 【発明の名称】 内燃機関の空燃比制御装置及びプラントの制御装置

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 無駄時間の影響を補償し、制御をより安定して高精度で行う。

【解決手段】 目標値への収束、例えば触媒装置3の下流側の O_2 センサ6の出力を目標値に収束させるように、エンジン1の目標空燃比 $KCMD$ を決定する排気側制御ユニット7aは、触媒装置3を含む排気系Eの無駄時間、並びにエンジン1及び目標空燃比 $KCMD$ に基づきエンジン1の空燃比を制御する機関側制御ユニット7bの無駄時間を合わせた合計無駄時間後の O_2 センサ6の出力を逐次推定し、その推定値を用いてエンジン1の目標空燃比 $KCMD$ を決定する。また、アクチュエータ制御手段を具えたプラントにおいて、プラント側の無駄時間及びアクチュエータ側の無駄時間を合せた時間後の出力の推定値に基づき、操作量を決定する。



1

【特許請求の範囲】

【請求項 1】内燃機関の排気系に設けられた触媒装置の下流側に該触媒装置を通過した前記内燃機関の排ガス中の特定成分の濃度を検出すべく設けられた第 1 排ガスセンサと、該第 1 排ガスセンサの出力が所定の目標値になるように内燃機関の空燃比を規定する操作量を逐次決定する操作量決定手段と、該操作量決定手段が決定した操作量に基づき内燃機関の運転を制御する機関制御手段とを備えた内燃機関の空燃比制御装置において、前記触媒装置の上流側から下流側の前記第 1 排ガスセンサまでの該触媒装置を含む排気系が有する第 1 無駄時間と、前記内燃機関及び機関制御手段が有する第 2 無駄時間とを合わせた合計無駄時間後における前記第 1 排ガスセンサの出力の推定値を表すデータを逐次生成する推定手段を備え、前記操作量決定手段は、該推定手段が生成したデータに基づき前記操作量を決定することを特徴とする内燃機関の空燃比制御装置。

【請求項 2】前記推定手段は、前記第 1 排ガスセンサの出力と前記操作量決定手段が過去に決定した前記操作量の過去値とから所定のアルゴリズムにより前記第 1 排ガスセンサの出力の推定値を表すデータを生成することを特徴とする請求項 1 記載の内燃機関の空燃比制御装置。

【請求項 3】前記所定のアルゴリズムは、前記触媒装置の上流側から下流側の前記第 1 排ガスセンサまでの該触媒装置を含む排気系を応答遅れ要素と前記第 1 無駄時間の無駄時間要素とを用いて表したモデルと、前記内燃機関及び機関制御手段を前記第 2 無駄時間の無駄時間要素を用いて表したモデルとに基づき構築されていることを特徴とする請求項 2 記載の内燃機関の空燃比制御装置。

【請求項 4】前記触媒装置の上流側の排気系に前記内燃機関の空燃比を検出すべく設けられた第 2 排ガスセンサを備えると共に、前記推定手段が前記第 1 排ガスセンサの出力の推定値を表すデータを生成するために必要な前記操作量の過去値には、前記第 2 無駄時間以前の少なくとも一つの過去値が含まれており、該推定手段は、当該第 2 無駄時間以前の前記操作量の過去値の全部又は一部の代わりに前記第 2 排ガスセンサの現在以前の出力値を用いて前記第 1 排ガスセンサの出力の推定値を表すデータを生成することを特徴とする請求項 2 又は 3 記載の内燃機関の空燃比制御装置。

【請求項 5】前記推定手段が前記操作量の過去値の代わりに用いる前記第 2 排ガスセンサの出力値は、該操作量の過去値を前記操作量決定手段が決定した時点から前記第 2 無駄時間後の時点における該第 2 排ガスセンサの出力値であることを特徴とする請求項 4 記載の内燃機関の制御装置。

【請求項 6】前記触媒装置の上流側の排気系に前記内燃機関の空燃比を検出すべく設けられた第 2 排ガスセンサを備えると共に、前記操作量決定手段が決定する前記操

2

作量は前記内燃機関の目標空燃比であり、前記機関制御手段は、該第 2 排ガスセンサの出力が前記目標空燃比になるように内燃機関の空燃比をフィードバック制御することを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載の内燃機関の空燃比制御装置。

【請求項 7】前記操作量決定手段が決定する前記操作量は前記内燃機関の目標空燃比であり、前記機関制御手段は、該第 2 排ガスセンサの出力が前記目標空燃比になるように内燃機関の空燃比をフィードバック制御することを特徴とする請求項 4 又は 5 記載の内燃機関の空燃比制御装置。

【請求項 8】前記機関制御手段は、前記フィードバック制御を漸化式形式の制御器により行うことを特徴とする請求項 6 又は 7 記載の内燃機関の空燃比制御装置。

【請求項 9】前記漸化式形式の制御器は適応制御器であることを特徴とする請求項 8 記載の内燃機関の空燃比制御装置。

【請求項 10】前記推定手段は、前記第 2 無駄時間をあらかじめ定めた所定の一定値に設定し、その第 2 無駄時間の設定値と前記第 1 無駄時間とを合わせた前記合計無駄時間後における前記第 1 排ガスセンサの出力の推定値を表すデータを生成することを特徴とする請求項 1 乃至 9 のいずれかに記載の内燃機関の空燃比制御装置。

【請求項 11】前記第 2 無駄時間の設定値は、前記内燃機関の所定の低速回転域において、該内燃機関及び機関制御手段が有する無駄時間として設定されていることを特徴とする請求項 10 記載の内燃機関の空燃比制御装置。

【請求項 12】前記推定手段は、前記第 2 無駄時間を前記内燃機関の運転状態に応じて可変的に設定し、その設定した第 2 無駄時間と前記第 1 無駄時間とを合わせた前記合計無駄時間後における前記第 1 排ガスセンサの出力の推定値を表すデータを生成することを特徴とする請求項 1 乃至 9 のいずれかに記載の内燃機関の空燃比制御装置。

【請求項 13】前記第 2 無駄時間を設定するための内燃機関の運転状態は少なくとも該内燃機関の回転数を含み、前記推定手段は、該内燃機関の回転数が低い程、該第 2 無駄時間を長く設定することを特徴とする請求項 12 記載の内燃機関の空燃比制御装置。

【請求項 14】前記推定手段は、前記第 1 無駄時間をあらかじめ定めた所定の一定値に設定し、その第 1 無駄時間の設定値と前記第 2 無駄時間の設定値とを合わせた前記合計無駄時間後における前記第 1 排ガスセンサの出力の推定値を表すデータを生成することを特徴とする請求項 10 乃至 13 のいずれかに記載の内燃機関の空燃比制御装置。

【請求項 15】前記操作量決定手段は、前記推定手段が生成するデータにより示される前記第 1 排ガスセンサの出力の推定値をスライディングモード制御により前記所

50

定の目標値に収束させるように前記操作量を決定することを特徴とする請求項 1 乃至 1 4 のいずれかに記載の内燃機関の空燃比制御装置。

【請求項 1 6】プラントへの入力を生成するアクチュエータと、前記プラントの出力を検出する第 1 検出手段と、該第 1 検出手段の出力が所定の目標値になるように該プラントへの入力を規定する操作量を逐次決定する操作量決定手段と、該操作量決定手段が決定した操作量に基づき前記アクチュエータの動作を制御するアクチュエータ制御手段とを備えたプラントの制御装置において、前記プラントが有する第 1 無駄時間と、前記アクチュエータ及びアクチュエータ制御手段が有する第 2 無駄時間とを合わせた合計無駄時間後における前記第 1 検出手段の出力の推定値を表すデータを逐次生成する推定手段を備え、前記操作量決定手段は、該推定手段が生成したデータに基づき前記操作量を決定することを特徴とするプラントの制御装置。

【請求項 1 7】前記推定手段は、前記第 1 検出手段の出力と前記操作量決定手段が過去に決定した前記操作量の過去値とから所定のアルゴリズムにより前記前記第 1 検出手段の出力の推定値を表すデータを生成することを特徴とする請求項 1 6 記載のプラントの制御装置。

【請求項 1 8】前記所定のアルゴリズムは、前記プラントを応答遅れ要素と前記第 1 無駄時間の無駄時間要素とを用いて表したモデルと、前記アクチュエータ及びアクチュエータ制御手段を前記第 2 無駄時間の無駄時間要素を用いて表したモデルとに基づき構築されていることを特徴とする請求項 1 7 記載の内燃機関の空燃比制御装置。

【請求項 1 9】前記プラントの入力を検出する第 2 検出手段を備えると共に、前記推定手段が前記第 1 検出手段の出力の推定値を表すデータを生成するために必要な前記操作量の過去値には、前記第 2 無駄時間以前の少なくとも一つの過去値が含まれており、該推定手段は、当該第 2 無駄時間以前の前記操作量の過去値の全部又は一部の代わりに前記第 2 検出手段の現在以前の出力値を用いて前記第 1 検出手段の出力の推定値を表すデータを生成することを特徴とする請求項 1 7 又は 1 8 記載のプラントの制御装置。

【請求項 2 0】前記推定手段が前記操作量の過去値の代わりに用いる前記第 2 検出手段の出力値は、該操作量の過去値を前記操作量決定手段が決定した時点から前記第 2 無駄時間後の時点における該第 2 検出手段の出力値であることを特徴とする請求項 1 9 記載のプラントの制御装置。

【請求項 2 1】前記プラントの入力を検出する第 2 検出手段を備えると共に、前記操作量決定手段が決定する前記操作量は前記プラントの目標入力であり、前記アクチュエータ制御手段は、該第 2 検出手段の出力が前記プラ

ントの目標入力になるように前記アクチュエータの動作をフィードバック制御することを特徴とする請求項 1 6 乃至 1 8 のいずれかに記載のプラントの制御装置。

【請求項 2 2】前記操作量決定手段が決定する前記操作量は前記プラントの目標入力であり、前記アクチュエータ制御手段は、前記第 2 検出手段の出力が前記プラントの目標入力になるように前記アクチュエータの動作をフィードバック制御することを特徴とする請求項 1 9 又は 2 0 記載のプラントの制御装置。

【請求項 2 3】前記アクチュエータ制御手段は、前記フィードバック制御を漸化式形式の制御器により行うことを特徴とする請求項 2 1 又は 2 2 記載のプラントの制御装置。

【請求項 2 4】前記漸化式形式の制御器は適応制御器であることを特徴とする請求項 2 3 記載のプラントの制御装置。

【請求項 2 5】前記推定手段は、前記第 2 無駄時間をあらかじめ定めた所定の一定値に設定し、その第 2 無駄時間の設定値と前記第 1 無駄時間とを合わせた前記合計無駄時間後における前記第 1 検出手段の出力の推定値を表すデータを生成することを特徴とする請求項 1 6 乃至 2 4 のいずれかに記載のプラントの制御装置。

【請求項 2 6】前記第 2 無駄時間の設定値は、前記アクチュエータの所定の動作状態において、該アクチュエータ及び前記アクチュエータ制御手段が有する無駄時間として設定されていることを特徴とする請求項 2 5 記載のプラントの制御装置。

【請求項 2 7】前記推定手段は、前記第 2 無駄時間を前記アクチュエータの動作状態に応じて可変的に設定し、その設定した第 2 無駄時間と前記第 1 無駄時間とを合わせた前記合計無駄時間後における前記第 1 検出手段の出力の推定値を表すデータを生成することを特徴とする請求項 1 6 乃至 2 4 のいずれかに記載のプラントの制御装置。

【請求項 2 8】前記推定手段は、前記第 1 無駄時間をあらかじめ定めた所定の一定値に設定し、その第 1 無駄時間の設定値と前記第 2 無駄時間の設定値とを合わせた前記合計無駄時間後における前記第 1 検出手段の出力の推定値を表すデータを生成することを特徴とする請求項 2 5 乃至 2 7 のいずれかに記載のプラントの制御装置。

【請求項 2 9】前記操作量決定手段は、前記推定手段が生成するデータにより示される前記第 1 検出手段の出力の推定値をスライディングモード制御により前記所定の目標値に収束させるように前記操作量を決定することを特徴とする請求項 1 6 乃至 2 8 のいずれかに記載のプラントの制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】本発明は、内燃機関の空燃比制御装置及びプラントの制御装置に関する。

【0002】

【従来の技術】従来、本願出願人は、内燃機関の排気系に設けた三元触媒等から成る触媒装置の最適な浄化性能を確保するために内燃機関の空燃比（内燃機関で燃焼させる混合気の空燃比）を制御する技術として、例えば特開平9-273438号公報等に見られるような技術を既に提案している。

【0003】この技術は、触媒装置を通過した排ガス中の特定成分の濃度、例えば酸素濃度を高精度で所定の適正值に整定させるように内燃機関の空燃比を制御することで、触媒装置の経時劣化等によらずに該触媒装置の最適な浄化性能を確保するものであり、この制御は次のように行われる。

【0004】すなわち、触媒装置を通過した排ガス中の酸素濃度を検出する O_2 センサを触媒装置の下流側に設け、この O_2 センサの出力が酸素濃度の前記適正值に相当する所定の目標値になるように内燃機関の空燃比を規定する操作量（具体的には内燃機関の目標空燃比）を逐次求める。そして、この目標空燃比に従って内燃機関の空燃比を制御する（より詳しくは内燃機関で燃焼させる混合気の空燃比が目標空燃比になるように内燃機関への燃料供給量を制御する）。この場合、内燃機関の空燃比を目標空燃比に従って制御するに際しては、触媒装置の上流側に設けた排ガスセンサにより内燃機関の空燃比（より正確には触媒装置に進入する排ガスを燃焼により生成した混合気の空燃比）を検出し、この空燃比の検出値が目標空燃比になるように内燃機関の空燃比をフィードバック制御する。

【0005】尚、かかる技術において、触媒装置の上流側から下流側の排気系は、前記排ガスセンサにより検出する空燃比を有する排ガスから、 O_2 センサにより検出する酸素濃度を有する排ガスを生成・出力するプラントと考えられる。また、内燃機関は、該プラントに入力する排ガスを生成・出力するアクチュエータと考えられる。そして、このように考えたとき、本願出願人が提案した前記の技術は、上記プラントの出力としての O_2 センサの出力（排ガス中の酸素濃度）を所定の目標値になるようにプラントの目標入力（より一般的にはプラントの入力を規定する操作量）を逐次求め、その目標入力に従ってアクチュエータとしての内燃機関の出力（＝プラントの入力）を制御する技術として表現することができる。

【0006】ところで、かかる前記内燃機関の空燃比制御技術では、触媒装置の最適な浄化性能を確保する上で、 O_2 センサの出力の目標値への制御を極めて高精度で行うことが必要であるものの、触媒装置を含む排気系には、一般に比較的長い無駄時間（触媒装置に進入する排ガスに対応する空燃比が、触媒装置の下流側の O_2 センサの出力に反映されるようになるまでに要する時間）が存在し、この無駄時間は、上記の制御に悪影響を及ぼ

しやすい（ O_2 センサの出力の目標値への収束性の低下を招きやすい）。このため、前記の技術では、前記 O_2 センサの出力や排ガスセンサの出力に基づいて上記排気系が有する無駄時間後の O_2 センサの出力（出力の未来値）を逐次推定する。そして、その出力の推定値を用いて前記目標空燃比を求めることによって、上記排気系の無駄時間の影響を補償して該目標空燃比の信頼性を高め、ひいては O_2 センサの出力の目標値への制御性を高めるようにしている。

10 【0007】一方、本願発明者等のさらなる検討によって、 O_2 センサの出力の目標値への制御性をより高める上では、触媒装置を含む排気系が有する無駄時間だけでなく、内燃機関並びにその空燃比を目標空燃比に基づき制御する機関制御器（これらの内燃機関及び機関制御器は、より一般的に言えば目標空燃比のデータから触媒装置に進入させる排ガスを生成するシステムである）が有する無駄時間（目標空燃比のデータが触媒装置に進入する排ガスに対応する実際の空燃比に反映されるようになるまでに要する時間）の影響をも補償することが望ましいことが判明した。

20 【0008】すなわち、内燃機関及び前記機関制御器からなるシステムが有する無駄時間は、内燃機関の運転状態等の影響を受け、該無駄時間が O_2 センサの出力の目標値への制御上、支障が無い程度に十分に短い場合もあるが、内燃機関の運転状態等によっては、比較的長いものとなる場合もある。そして、このような場合には、 O_2 センサの出力の目標値への制御性が低下してしまう。

【0009】

30 【発明が解決しようとする課題】本発明はかかる背景に鑑み、触媒装置の下流側の排ガス中の特定成分の濃度が所定の目標値になるように内燃機関の空燃比を規定する操作量を決定し、その操作量に基づき内燃機関の運転を制御するものにおいて、触媒装置を含む排気系の無駄時間だけでなく、内燃機関及び前記操作量に基づく内燃機関の運転制御を行う制御器が有する無駄時間の影響をも補償し、前記特定成分の濃度の目標値への制御性を高め、該制御をより安定して高精度で行うことができる内燃機関の空燃比制御装置を提供することを目的とする。

40 【0010】また、本発明はより一般的に、プラントの出力が所定の目標値になるようにプラントへの入力を規定する操作量を決定し、その操作量に基づきプラントへの入力を生成するアクチュエータの動作を制御するものにおいて、プラントが有する無駄時間だけでなく、アクチュエータ及び前記操作量に基づくアクチュエータの動作制御を行う制御器が有する無駄時間の影響を補償し、プラントの出力の目標値への制御性を高め、該制御をより安定して高精度で行うことができるプラントの制御装置を提供することを目的とする。

【0011】

50 【課題を解決するための手段】本発明の内燃機関の空燃

比制御装置はかかる目的を達成するために、内燃機関の排気系に設けられた触媒装置の下流側に該触媒装置を通過した前記内燃機関の排ガス中の特定成分の濃度を検出すべく設けられた第 1 排ガスセンサと、該第 1 排ガスセンサの出力が所定の目標値になるように内燃機関の空燃比を規定する操作量を逐次決定する操作量決定手段と、該操作量決定手段が決定した操作量に基づき内燃機関の運転を制御する機関制御手段とを備えた内燃機関の空燃比制御装置において、前記触媒装置の上流側から下流側の前記第 1 排ガスセンサまでの該触媒装置を含む排気系が有する第 1 無駄時間と、前記内燃機関及び機関制御手段が有する第 2 無駄時間とを合わせた合計無駄時間後における前記第 1 排ガスセンサの出力の推定値を表すデータを逐次生成する推定手段を備え、前記操作量決定手段は、該推定手段が生成したデータに基づき前記操作量を決定することを特徴とする（請求項 1 記載の発明）。

【0012】かかる本発明の内燃機関の空燃比制御装置によれば、前記推定手段によって、前記第 1 無駄時間及び第 2 無駄時間を合わせた合計無駄時間後における前記第 1 排ガスセンサの出力（前記特定成分の濃度の検出値）の推定値を表すデータを逐次生成し、このデータに基づいて内燃機関の空燃比（内燃機関で燃焼させる混合気の空燃比）を規定する前記操作量を前記操作量決定手段により求める。このため、前記第 1 の排ガスセンサの出力を前記所定の目標値に制御する（目標値に収束させる）ために必要な空燃比の前記操作量を、前記触媒装置を含む排気系が有する第 1 無駄時間だけでなく、前記内燃機関及び機関制御手段が有する第 2 無駄時間の影響を排除して求めることが可能となる。従って、前記機関制御手段によって、該操作量に基づく内燃機関の運転の制御を行い、該内燃機関の空燃比を該操作量によって規定される空燃比に制御することで、結果的に、前記第 1 及び第 2 無駄時間の両者を補償しつつ、第 1 排ガスセンサの出力を前記所定の目標値に制御することが可能となる。

【0013】よって本発明によれば、第 1 排ガスセンサが検出する前記特定成分の濃度の目標値への制御性を高め、該制御をより安定して高精度で行うことができる。

【0014】尚、前記第 1 の排ガスセンサの出力の推定値を表すデータは、該センサの出力値の推定値であってもよいが、該センサの出力値と適当な所定値（例えば前記所定の目標値）との偏差の推定値であってもよい。

【0015】かかる本発明の内燃機関の空燃比制御装置にあっては、前記推定手段は、例えば前記第 1 排ガスセンサの出力と前記操作量決定手段が過去に決定した前記操作量の過去値とから所定のアルゴリズムにより前記第 1 排ガスセンサの出力の推定値を表すデータを生成することができる（請求項 2 記載の発明）。

【0016】この場合、前記所定のアルゴリズムは、前記触媒装置の上流側から下流側の前記第 1 排ガスセンサ

までの該触媒装置を含む排気系を応答遅れ要素と前記第 1 無駄時間の無駄時間要素とを用いて表したモデルと、前記内燃機関及び機関制御手段を前記第 2 無駄時間の無駄時間要素を用いて表したモデルとに基づき構築しておくことで（請求項 3 記載の発明）、前記第 1 排ガスセンサの出力の推定値を表すデータを適正に生成することができる。

【0017】尚、内燃機関には、一般に無駄時間要素だけでなく応答遅れ要素も含まれるが、この応答遅れは、機関制御手段によって補償することが可能であるため、前記操作量決定手段にとっては、前記内燃機関及び機関制御手段のモデルに応答遅れ要素を用いなくとも支障はない。

【0018】一方、本発明の内燃機関の空燃比制御装置では内燃機関の時々刻々の空燃比は、基本的には前記第 2 無駄時間前の前記操作量によって規定される。また、該内燃機関の空燃比（より正確には、燃焼により排ガス化した混合気の空燃比）は、触媒装置の上流側の排気系に適当な排ガスセンサを備えることで検出することができる。従って、前記請求項 2 あるいは請求項 3 記載の発明において、前記第 1 排ガスセンサの出力の推定値を表すデータを生成するために用いる前記操作量の過去値に、前記第 2 無駄時間以前の少なくとも一つの過去値が含まれている場合には、内燃機関の空燃比を検出するようにすれば、該第 2 無駄時間以前の操作量の過去値を、該過去値によって規定される空燃比の検出値で置き換えることができる。

【0019】そこで、本発明の内燃機関の空燃比制御装置では、請求項 2 あるいは請求項 3 の発明において、前記触媒装置の上流側の排気系に前記内燃機関の空燃比を検出すべく設けられた第 2 排ガスセンサを備えると共に、前記推定手段が前記第 1 排ガスセンサの出力の推定値を表すデータを生成するために必要な前記操作量の過去値には、前記第 2 無駄時間以前の少なくとも一つの過去値が含まれており、該推定手段は、当該第 2 無駄時間以前の前記操作量の過去値の全部又は一部の代わりに前記第 2 排ガスセンサの現在以前の出力値を用いて前記第 1 排ガスセンサの出力の推定値を表すデータを生成する（請求項 4 記載の発明）。

【0020】このように第 2 無駄時間以前の前記操作量の過去値の全部又は一部の代わりに前記第 2 排ガスセンサの現在以前の出力値（空燃比の検出値）を用いて前記第 1 排ガスセンサの出力の推定値を表すデータを生成することによって、前記操作量によって定まる空燃比に対して、第 2 排ガスセンサの出力値により表される実空燃比が外乱等の影響で誤差を生じるような場合でも、その外乱等の影響を考慮した形態で、換言すれば、内燃機関の実動状態に即して前記第 1 排ガスセンサの出力の推定値を表すデータを生成することができる。従って、その推定値のデータの信頼性を高めることができ、ひいて

10

20

30

40

50

は、第1排ガスセンサの出力の目標値への制御性をより高めることができる。

【0021】尚、前記第2無駄時間の長さ等によっては、前記第1排ガスセンサの出力の推定値を表すデータを生成するために必要な前記操作量の過去値の全てが、前記第2無駄時間以前のものとなる場合もある。そして、この場合に、その過去値の全部を第2排ガスセンサの現在以前の出力値に置き換えた場合には、前記推定手段は、前記第1排ガスセンサの出力と前記第2排ガスセンサの出力とから所定のアルゴリズムにより前記第1排ガスセンサの出力の推定値を表すデータを生成することとなる。従って、本願の請求項4の発明は、このような態様を含むものである。

【0022】また、請求項4の発明において、前記第2排ガスセンサの各時点の出力（空燃比の検出値）は、その第2無駄時間前の前記操作量に対応するものであるもので、前記推定手段が前記操作量の過去値の代わりに用いる前記第2排ガスセンサの出力値は、より具体的には、該操作量の過去値を前記操作量決定手段が決定した時点から前記第2無駄時間後の時点における該第2排ガスセンサの出力値である（請求項5記載の発明）。

【0023】前述のような本発明の内燃機関の空燃比制御装置において、前記第2排ガスセンサを必ずしも必要としない請求項1乃至3のいずれかの発明にあっては、前記触媒装置の上流側の排気系に前記内燃機関の空燃比を検出すべく設けられた第2排ガスセンサを備えると共に、前記操作量決定手段が決定する前記操作量は前記内燃機関の目標空燃比であり、前記機関制御手段は、該第2排ガスセンサの出力が前記目標空燃比になるように内燃機関の空燃比をフィードバック制御する（請求項6記載の発明）。

【0024】また、前記第2排ガスセンサを具備した請求項4又は5の発明にあっては、前記操作量決定手段が決定する前記操作量は前記内燃機関の目標空燃比であり、前記機関制御手段は、該第2排ガスセンサの出力が前記目標空燃比になるように内燃機関の空燃比をフィードバック制御する（請求項7記載の発明）。

【0025】このように前記操作量を内燃機関の目標空燃比（第2排ガスセンサの出力の目標値）とし、第2排ガスセンサの出力がその目標空燃比になるように内燃機関の空燃比をフィードバック制御することによって、内燃機関の空燃比を、第1排ガスセンサの出力が前記所定の目標値になるように決定された目標空燃比に安定して制御することができる。

【0026】尚、前記操作量決定手段によって決定する前記操作量は、内燃機関の目標空燃比に限られるものではなく、例えば内燃機関の燃料供給量の補正量等を前記操作量として決定するようにすることも可能である。また、前記操作量を目標空燃比とした場合であっても、該目標空燃比からフィードフォワード的に内燃機関の燃料

供給量を制御し、それにより内燃機関の空燃比を目標空燃比に制御するようにすることも可能である。

【0027】上記のように内燃機関の空燃比のフィードバック制御を行う場合にあっては、前記機関制御手段は、前記フィードバック制御を漸化式形式の制御器により行うことが好ましい（請求項8記載の発明）。

【0028】すなわち、漸化式形式の制御器は、適応制御器や最適レギュレータ等によって構成されるものであり、このような制御器を用いて、第2排ガスセンサの出力が前記空燃比の目標値になるように内燃機関の空燃比をフィードバック制御することで、内燃機関の運転状態の変化や経時的な特性変化等の動的な変化に対して、高い追従性で内燃機関の空燃比をその目標値に制御することができる。さらには内燃機関の応答遅れの影響も的確に補償することができるため、前記推定手段が生成する第1排ガスセンサの出力の推定値を表すデータの信頼性もより高まる。この結果、第1排ガスセンサの出力の前記所定の目標値への制御性をさらに高めることができる。

【0029】尚、前記漸化式形式の制御器は、空燃比のフィードバック操作量（例えば燃料供給量の補正量）の現在以前の所定数の時系列データを含む所定の漸化式によって新たなフィードバック操作量を求めるものである。

【0030】また、前記漸化式形式の制御器としては、特に適応制御器が好適である（請求項9記載の発明）。

【0031】以上説明した本発明の内燃機関の空燃比制御装置にあっては、前記推定手段は、例えば前記第2無駄時間をあらかじめ定めた所定の一定値に設定し、その第2無駄時間の設定値と前記第1無駄時間とを合わせた前記合計無駄時間後における前記第1排ガスセンサの出力の推定値を表すデータを生成する（請求項10記載の発明）。

【0032】そして、この場合、特に、前記第2無駄時間の設定値は、前記内燃機関の所定の低速回転域において、該内燃機関及び機関制御手段が有する無駄時間として設定されていることが好ましい（請求項11記載の発明）。

【0033】すなわち、内燃機関とその回転数に同期した制御を必要とする前記機関制御手段とが有する無駄時間は、内燃機関の回転数に応じて変化し、該回転数が低い程、該無駄時間は長くなる。そして、内燃機関及び機関制御手段が有する無駄時間の影響を内燃機関の回転数によらずに補償する上では、該内燃機関及び機関制御手段が採り得る最大側の無駄時間の影響を補償することが好ましい。

【0034】このため、前記第2無駄時間の設定値を一定値とする場合、その設定値は、内燃機関の所定の低速回転域（例えば内燃機関のアイドル回転域）において、該内燃機関及び機関制御手段が有する無駄時間とし

て設定されていることが好ましい。このように第2無駄時間の設定値を定め、その設定値と前記第1無駄時間との合計無駄時間後における第1排ガスセンサの出力の推定値を示すデータを生成することで、内燃機関及び機関制御手段が有する無駄時間の影響を内燃機関の回転数によらずに補償し、第1排ガスセンサの出力の所定の目標値への制御性を内燃機関の回転数によらずに高めることができる。

【0035】また、本発明の内燃機関の空燃比制御装置では、上記のように前記第2無駄時間を所定の一定値に設定する他、該第2無駄時間を可変的に設定するようにしてもよい。すなわち、前記推定手段は、前記第2無駄時間を前記内燃機関の運転状態に応じて可変的に設定し、その設定した第2無駄時間と前記第1無駄時間とを合わせた前記合計無駄時間後における前記第1排ガスセンサの出力の推定値を表すデータを生成するようにしてもよい（請求項12記載の発明）。

【0036】そして、この場合には、前記第2無駄時間を設定するための内燃機関の運転状態は少なくとも該内燃機関の回転数を含み、前記推定手段は、該内燃機関の回転数が低い程、該第2無駄時間を長く設定することが好ましい（請求項13記載の発明）。

【0037】このように第2無駄時間を可変的に設定するようにしても、内燃機関及び機関制御手段が有する無駄時間の影響を内燃機関の回転数によらずに補償し、第1排ガスセンサの出力の所定の目標値への制御性を内燃機関の回転数によらずに高めることができる。

【0038】尚、この場合、第2無駄時間を設定するための内燃機関の運転状態として、内燃機関の回転数の他、内燃機関の負荷（吸気状態等）を考慮するようにしてもよい。

【0039】また、前記第1無駄時間に関しては、前記推定手段は、例えば前記第1無駄時間をあらかじめ定めた所定の一定値に設定し、その第1無駄時間の設定値と前記第2無駄時間の設定値とを合わせた前記合計無駄時間後における前記第1排ガスセンサの出力の推定値を表すデータを生成する（請求項14記載の発明）。この場合、特に、第2無駄時間の設定値も一定値とした場合において、推定手段が第1排ガスセンサの出力の推定値を表すデータを生成するための処理が容易なものとなる。

【0040】以上説明した本発明の内燃機関の空燃比制御装置では、前記操作量決定手段は、前記推定手段が生成するデータにより示される前記第1排ガスセンサの出力の推定値をスライディングモード制御により前記所定の目標値に収束させるように前記操作量を決定する（請求項15記載の発明）。

【0041】すなわち、スライディングモード制御は、可変構造型のフィードバック制御手法であり、PID制御等に比べて外乱等の影響を受けにくく、制御の安定性が極めて高いという特性を有している。従って、このよ

うなスライディングモード制御を用いて前記第1排ガスセンサの出力の推定値を前記所定の目標値に収束させるように前記操作量を決定することで、前記第1及び第2無駄時間の影響が補償されることと併せて、第1排ガスセンサの出力の目標値への制御を高い安定性で高精度に行うことができる。

【0042】次に、本発明のプラントの制御装置は、前述した内燃機関の空燃比制御装置をより一般化したものであり、前述の目的を達成するために、プラントへの入力生成するアクチュエータと、前記プラントの出力を検出する第1検出手段と、該第1検出手段の出力が所定の目標値になるように該プラントへの入力を規定する操作量を逐次決定する操作量決定手段と、該操作量決定手段が決定した操作量に基づき前記アクチュエータの動作を制御するアクチュエータ制御手段とを備えたプラントの制御装置において、前記プラントが有する第1無駄時間と、前記アクチュエータ及びアクチュエータ制御手段が有する第2無駄時間とを合わせた合計無駄時間後における前記第1検出手段の出力の推定値を表すデータを逐次生成する推定手段を備え、前記操作量決定手段は、該推定手段が生成したデータに基づき前記操作量を決定する（請求項16記載の発明）。

【0043】かかる本発明のプラントの制御装置によれば、前記推定手段によって、前記第1無駄時間及び第2無駄時間を合わせた合計無駄時間後における前記第1検出手段の出力（プラントの出力の検出値）の推定値を表すデータを逐次生成し、このデータに基づいてプラントへの入力（＝アクチュエータの出力）を規定する前記操作量を前記操作量決定手段により求める。このため、前記第1検出手段の出力を前記所定の目標値に制御する（目標値に収束させる）ために必要なプラントの入力を規定する前記操作量を、前記プラントが有する第1無駄時間だけでなく、前記アクチュエータ及びアクチュエータ制御手段が有する第2無駄時間の影響を排除して求めることが可能となる。従って、前記アクチュエータ制御手段によって、該操作量に基づくアクチュエータの動作制御を行い、該アクチュエータが生成するプラントへの入力を該操作量によって規定される入力に制御することで、結果的に、前記第1及び第2無駄時間の両者を補償しつつ、第1検出手段の出力を前記所定の目標値に制御することが可能となる。

【0044】よって本発明によれば、プラントの出力の目標値への制御性を高め、該制御をより安定して高精度で行うことができる。

【0045】尚、前記第1検出手段の出力の推定値を表すデータは、該検出手段の出力値の推定値であってもよいが、該センサの出力値と適当な所定値（例えば前記所定の目標値）との偏差の推定値であってもよい。

【0046】かかる本発明のプラントの制御装置においては、前記推定手段は、例えば前記第1検出手段の出力

と前記操作量決定手段が過去に決定した前記操作量の過去値とから所定のアルゴリズムにより前記前記第1検出手段の出力の推定値を表すデータを生成することができる(請求項17記載の発明)。

【0047】この場合、前記所定のアルゴリズムは、前記プラントを応答遅れ要素と前記第1無駄時間の無駄時間要素とを用いて表したモデルと、前記アクチュエータ及びアクチュエータ制御手段を前記第2無駄時間の無駄時間要素を用いて表したモデルとに基づき構築しておくことで(請求項18記載の発明)、前記第1検出手段の出力の推定値を表すデータを適正に生成することができる。

【0048】尚、アクチュエータに無駄時間要素だけでなく応答遅れ要素が含まれていても、この応答遅れは、アクチュエータ制御手段によって補償することが可能であるため、前記操作量決定手段にとっては、前記アクチュエータ及びアクチュエータ制御手段のモデルに応答遅れ要素を用いなくとも支障はない。

【0049】一方、本発明のプラントの制御装置ではプラントの時々刻々の入力(アクチュエータの出力)は、基本的には前記第2無駄時間前の前記操作量によって規定される。従って、前記請求項17あるいは請求項18記載の発明において、前記第1検出手段の出力の推定値を表すデータを生成するために用いる前記操作量の過去値に、前記第2無駄時間以前の少なくとも一つの過去値が含まれている場合には、プラントの入力を検出するようにすれば、該第2無駄時間以前の操作量の過去値を、該過去値によって規定されるプラントの入力の検出値で置き換えることができる。

【0050】そこで、本発明のプラントの制御装置では、請求項17あるいは請求項18の発明において、前記プラントの入力を検出する第2検出手段を備えると共に、前記推定手段が前記第1検出手段の出力の推定値を表すデータを生成するために必要な前記操作量の過去値には、前記第2無駄時間以前の少なくとも一つの過去値が含まれており、該推定手段は、当該第2無駄時間以前の前記操作量の過去値の全部又は一部の代わりに前記第2検出手段の現在以前の出力値を用いて前記第1検出手段の出力の推定値を表すデータを生成する(請求項19記載の発明)。

【0051】このように第2無駄時間以前の前記操作量の過去値の全部又は一部の代わりに前記第2検出手段の現在以前の出力値(プラントの入力の検出値)を用いて前記第1検出手段の出力の推定値を表すデータを生成することによって、前記操作量によって定まるプラントの入力に対して、第2検出手段の出力値により表されるプラントの実入力(アクチュエータの実出力)が外乱等の影響で誤差を生じるような場合でも、その外乱等の影響を考慮した形態で、換言すれば、アクチュエータの実動状態に即して前記第1検出手段の出力の推定値を表すデ

ータを生成することができる。従って、その推定値のデータの信頼性を高めることができ、ひいては、第1検出手段の出力の目標値への制御性をより高めることができる。

【0052】尚、前記第2無駄時間の長さ等によっては、前記第1検出手段の出力の推定値を表すデータを生成するために必要な前記操作量の過去値の全てが、前記第2無駄時間以前のものとなる場合もある。そして、この場合に、その過去値の全部を第2検出手段の現在以前の出力値に置き換えた場合には、前記推定手段は、前記第1検出手段の出力と前記第2検出手段の出力とから所定のアルゴリズムにより前記第1検出手段の出力の推定値を表すデータを生成することとなる。従って、本願の請求項19の発明は、このような態様をも含むものである。

【0053】また、請求項19の発明において、前記第2検出手段の各時点の出力(プラントの入力の検出値)は、その第2無駄時間前の前記操作量に対応するものであるので、前記推定手段が前記操作量の過去値の代わりに用いる前記第2検出手段の出力値は、より具体的には、該操作量の過去値を前記操作量決定手段が決定した時点から前記第2無駄時間後の時点における該第2検出手段の出力値である(請求項20記載の発明)。

【0054】前述のような本発明のプラントの制御装置において、前記第2検出手段を必ずしも必要としない請求項16乃至17のいずれかの発明にあっては、前記プラントの入力を検出する第2検出手段を備えると共に、前記操作量決定手段が決定する前記操作量は前記プラントの目標入力であり、前記アクチュエータ制御手段は、該第2検出手段の出力が前記プラントの目標入力になるように前記アクチュエータの動作をフィードバック制御する(請求項21記載の発明)。

【0055】また、前記第2検出手段を具備した請求項18又は19の発明にあっては、前記操作量決定手段が決定する前記操作量は前記プラントの目標入力であり、前記アクチュエータ制御手段は、前記第2検出手段の出力が前記プラントの目標入力になるように前記アクチュエータの動作をフィードバック制御する(請求項22記載の発明)。

【0056】このように前記操作量をプラントの目標入力(第2検出手段の出力の目標値)とし、第2検出手段の出力が目標入力になるようにアクチュエータの動作をフィードバック制御することによって、プラントの入力を、第1検出手段の出力が前記所定の目標値になるように決定された目標入力に安定して制御することができる。

【0057】尚、前記操作量決定手段によって決定する前記操作量は、プラントの目標入力に限られるものではなく、例えばアクチュエータの動作量の補正量等を前記操作量として決定するようにすることも可能である。ま

た、前記操作量をプラントの目標入力とした場合であっても、該目標入力、すなわちアクチュエータの目標出力からフィードフォワード的にアクチュエータの動作量を制御し、それによりアクチュエータの出力をプラントの目標入力に制御するようにすることも可能である。

【0058】上記のようにアクチュエータの動作のフィードバック制御を行う場合にあっては、前記アクチュエータ制御手段は、前記フィードバック制御を漸化式形式の制御器により行うことが好ましい（請求項23記載の発明）。

【0059】すなわち、漸化式形式の制御器は、適応制御器や最適レギュレータ等によって構成されるものであり、このような制御器を用いて、第2検出手段の出力が前記目標入力になるようにアクチュエータの動作をフィードバック制御することで、アクチュエータの動作状態の変化や経時的な特性変化等の動的な変化に対して、高い追従性でプラントの入力を目標入力に制御することができる。さらにはアクチュエータの応答遅れの影響も的確に補償することができるため、前記推定手段が生成する第1検出手段の出力の推定値を表すデータの信頼性もより高まる。この結果、第1検出手段の出力の前記所定の目標値への制御性をさらに高めることができる。

【0060】尚、前記漸化式形式の制御器は、アクチュエータの動作のフィードバック操作量（例えばアクチュエータの動作量の補正量）の現在以前の所定数の時系列データを含む所定の漸化式によって新たなフィードバック操作量を求めるものである。

【0061】また、前記漸化式形式の制御器としては、特に適応制御器が好適である（請求項24記載の発明）。

【0062】以上説明した本発明のプラントの制御装置にあっては、前記推定手段は、例えば前記第2無駄時間をあらかじめ定めた所定の一定値に設定し、その第2無駄時間の設定値と前記第1無駄時間とを合わせた前記合計無駄時間後における前記第1検出手段の出力の推定値を表すデータを生成する（請求項25記載の発明）。

【0063】そして、この場合、特に、前記第2無駄時間の設定値は、前記アクチュエータの所定の動作状態において、該アクチュエータ及び前記アクチュエータ制御手段が有する無駄時間として設定されていることが好ましい（請求項26記載の発明）。

【0064】すなわち、アクチュエータ及びアクチュエータ制御手段が有する無駄時間は、アクチュエータの動作状態に応じて変化する場合がある。そして、該無駄時間の影響をアクチュエータの動作状態によらずに補償する上では、該アクチュエータ及びアクチュエータ制御手段が採り得る最大側の無駄時間の影響を補償することが好ましい。

【0065】このため、前記第2無駄時間の設定値を一定値とする場合、その設定値を、アクチュエータの所定

の動作状態（例えばアクチュエータ及びアクチュエータ制御手段が採り得る無駄時間が最大となるような動作状態）において、該アクチュエータ及びアクチュエータ制御手段が有する無駄時間として設定することが好ましい。このように第2無駄時間の設定値を定め、その設定値と前記第1無駄時間との合計無駄時間後における第1検出手段の出力の推定値を示すデータを生成することで、アクチュエータ及びアクチュエータ制御手段が有する無駄時間の影響をアクチュエータの動作状態によらずに補償し、第1検出手段の出力の所定の目標値への制御性をアクチュエータの動作状態によらずに高めることが可能となる。

【0066】また、本発明のプラントの制御装置では、上記のように前記第2無駄時間を所定の一定値に設定する他、該第2無駄時間を可変的に設定するようにしてもよい。すなわち、前記推定手段は、前記第2無駄時間を前記アクチュエータの動作状態に応じて可変的に設定し、その設定した第2無駄時間と前記第1無駄時間とを合わせた前記合計無駄時間後における前記第1検出手段の出力の推定値を表すデータを生成するようにしてもよい（請求項27記載の発明）。

【0067】このように第2無駄時間をアクチュエータの動作状態に応じて可変的に設定するようにしても、アクチュエータ及びアクチュエータ制御手段が有する無駄時間の影響をアクチュエータの動作状態によらずに補償し、第1検出手段の出力の所定の目標値への制御性をアクチュエータの動作状態によらずに高めることができる。

【0068】また、前記第1無駄時間に関しては、前記推定手段は、例えば前記第1無駄時間をあらかじめ定めた所定の一定値に設定し、その第1無駄時間の設定値と前記第2無駄時間の設定値とを合わせた前記合計無駄時間後における前記第1検出手段の出力の推定値を表すデータを生成する（請求項28記載の発明）。この場合、特に、第2無駄時間の設定値も一定値とした場合において、推定手段が第1検出手段の出力の推定値を表すデータを生成するための処理が容易なものとなる。

【0069】以上説明した本発明のプラントの制御装置では、前記操作量決定手段は、前記推定手段が生成するデータにより示される前記第1検出手段の出力の推定値をスライディングモード制御により前記所定の目標値に収束させるように前記操作量を決定する（請求項29記載の発明）。

【0070】すなわち、前記内燃機関の空燃比制御装置に関して説明した如く、スライディングモード制御は、制御の安定性が極めて高いという特性を有しているもので、このようなスライディングモード制御を用いて前記第1検出手段の出力の推定値を前記所定の目標値に収束させるように前記操作量を決定することで、前記第1及び第2無駄時間の影響が補償されることと併せて、第

1 検出手段の出力の目標値への制御を高い安定性で高精度に行うことができる。

【0071】

【発明の実施の形態】本発明の一実施形態を図1乃至図20を参照して説明する。尚、本実施形態は、本発明の内燃機関の空燃比制御装置の一実施形態であると同時に、本発明のプラントの制御装置の一実施形態でもある。

【0072】図1は本実施形態の装置の全体構成をブロック図で表したものであり、図中、1は例えば4気筒のエンジン（内燃機関）である。このエンジン1の各気筒毎に燃料及び空気の混合気の燃焼により生成される排ガスは、エンジン1の近傍で共通の排気管2に集合され、該排気管2を介して大気中に放出される。そして、排気管2には、排ガスを浄化するために、三元触媒を用いて構成された二つの触媒装置3、4が該排気管2の上流側から順に介装されている。

【0073】尚、下流側の触媒装置4はこれを省略してもよい。また、本発明のプラントの制御装置に対応させると、前記エンジン1はアクチュエータに相当するものである。

【0074】本実施形態の制御装置は、エンジン1の空燃比（エンジン1で燃焼させる燃料及び空気の混合気の空燃比）を制御するものであり、触媒装置3の上流側（より詳しくはエンジン1の各気筒毎の排ガスの集合箇所）で排気管2に設けられた第2排ガスセンサ（第2検出手段）としての広域空燃比センサ5と、触媒装置3の下流側（触媒装置4の上流側）で排気管2に設けられた第1排ガスセンサ（第1検出手段）としての O_2 センサ（酸素濃度センサ）6と、これらのセンサ5、6の出力等に基づき後述の制御処理を行う制御ユニット7とにより構成されている。尚、制御ユニット7には、前記広域空燃比センサ5や O_2 センサ6の出力の他に、エンジン1の運転状態を検出するための図示しない回転数センサや吸気圧センサ、冷却水温センサ等、各種のセンサの出力が与えられる。

【0075】広域空燃比センサ5は、 O_2 センサを用いて構成されたものであり、エンジン1で燃焼した混合気の空燃比（これは混合気の燃焼によって生成された排ガス中の酸素濃度により把握される）に応じたレベルの出力を生成する。この場合、広域空燃比センサ5（以下、LAFセンサ5と称する）は、該センサ5を構成する O_2 センサの出力から図示しないリニアライザ等の検出回路によって、エンジン1の空燃比の広範囲にわたって、それに比例したレベルの出力KACT、すなわち、該空燃比の検出値を示す出力KACTを生成するものである。このようなLAFセンサ5は本願出願人が特開平4-369471号公報にて詳細に開示しているので、ここではさらなる説明を省略する。

【0076】また、触媒装置3の下流側の O_2 センサ6

は、触媒装置3を通過した排ガス中の酸素濃度に応じたレベルの出力 VO_2/OUT 、すなわち、該排ガス中の酸素濃度の検出値を示す出力 VO_2/OUT を通常の O_2 センサと同様に生成する。この O_2 センサ6の出力 VO_2/OUT は、図2に示すように、触媒装置3を通過した排ガスの酸素濃度により把握される空燃比が理論空燃比近傍の範囲 Δ に存するような状態で、該排ガスの酸素濃度にはほぼ比例した高感度な変化を生じるものとなる。

【0077】制御ユニット7はマイクロコンピュータを用いて構成されたものであり、エンジン1の目標空燃比 $KCMD$ を逐次決定するための制御処理を担う制御ユニット7a（以下、排気側制御ユニット7aという）と、該目標空燃比 $KCMD$ に基づきエンジン1の空燃比を制御する処理を担う制御ユニット7b（以下、機関側制御ユニット7bという）とに大別される。ここで、本発明の構成に対応させると、排気側制御ユニット7aは操作量決定手段に相当し、機関側制御ユニット7bは機関制御手段（アクチュエータ制御手段）に相当するものである。

【0078】機関側制御ユニット7bは、その機能的構成として、エンジン1への基本燃料噴射量 T_{im} を求める基本燃料噴射量算出部8と、基本燃料噴射量 T_{im} を補正するための第1補正係数 K_{TOTAL} 及び第2補正係数 K_{CMD} をそれぞれ求める第1補正係数算出部9及び第2補正係数算出部10とを具備する。

【0079】前記基本燃料噴射量算出部8は、エンジン1の回転数 NE と吸気圧 P_B とから、それらにより規定されるエンジン1の基準の燃料噴射量（燃料供給量）をあらかじめ設定されたマップを用いて求め、その基準の燃料噴射量をエンジン1の図示しないスロットル弁の有効開口面積に応じて補正することで基本燃料噴射量 T_{im} を算出するものである。

【0080】また、第1補正係数算出部9が求める第1補正係数 K_{TOTAL} は、エンジン1の排気還流率（エンジン1の吸入空気中に含まれる排ガスの割合）や、エンジン1の図示しないキャニスタのバージ時にエンジン1に供給される燃料のバージ量、エンジン1の冷却水温、吸気温等を考慮して前記基本燃料噴射量 T_{im} を補正するためのものである。

【0081】また、第2補正係数算出部10が求める第2補正係数 K_{CMD} は、排気側制御ユニット7aが後述の如く決定する目標空燃比 $KCMD$ に対応してエンジン1へ流入する燃料の冷却効果による吸入空気の充填効率を考慮して基本燃料噴射量 T_{im} を補正するためのものである。

【0082】これらの第1補正係数 K_{TOTAL} 及び第2補正係数 K_{CMD} による基本燃料噴射量 T_{im} の補正は、第1補正係数 K_{TOTAL} 及び第2補正係数 K_{CMD} を基本燃料噴射量 T_{im} に乗算することで行われ、この補正によりエンジン1の要求燃料噴射量 T_{cy1} が得られる。

【0083】尚、前記基本燃料噴射量 T_{im} や、第1補正係数 K_{TOTAL} 、第2補正係数 K_{CMD} のより具体的な算出手

10

20

30

40

50

法は、特開平5-79374号公報等に本願出願人が開示しているため、ここでは詳細な説明を省略する。

【0084】機関側制御ユニット7bは、上記の機能的構成の他、さらに、排気側制御ユニット7a（詳細は後述する）が逐次決定する目標空燃比 K_{CMD} にLAFセンサ5の出力KACT（空燃比の検出値）を一致（収束）させるようにエンジン1の燃料噴射量を調整することでエンジン1の空燃比をフィードバック制御するフィードバック制御部14を備えている。

【0085】このフィードバック制御部14は、本実施形態では、エンジン1の各気筒の全体的な空燃比をフィードバック制御する大局的フィードバック制御部15と、エンジン1の各気筒毎の空燃比をフィードバック制御する局所的フィードバック制御部16とにより構成されている。

【0086】前記大局的フィードバック制御部15は、LAFセンサ5の出力KACTが前記目標空燃比 K_{CMD} に収束するように、前記要求燃料噴射量 T_{cy1} を補正する（要求燃料噴射量 T_{cy1} に乗算する）フィードバック補正係数 K_{FB} を逐次求めるものである。そして、該大局的フィードバック制御部15は、LAFセンサ5の出力KACTと目標空燃比 K_{CMD} との偏差に応じて周知のPID制御を用いて前記フィードバック補正係数 K_{FB} としてのフィードバック操作量 K_{LAF} を生成するPID制御器17と、LAFセンサ5の出力KACTと目標空燃比 K_{CMD} とからエンジン1の運転状態の変化や特性変化等を考慮して前記フィードバック補正係数 K_{FB} を規定するフィードバック操作量 K_{STR} を適応的に求める適応制御器18（図ではSTRと称している）とをそれぞれ独立的に具備している。

【0087】ここで、本実施形態では、前記PID制御器17が生成するフィードバック操作量 K_{LAF} は、LAFセンサ5の出力KACT（空燃比の検出値）が目標空燃比 K_{CMD} に一致している状態で「1」となり、該操作量 K_{LAF} をそのまま前記フィードバック補正係数 K_{FB} として使用できるようにになっている。一方、適応制御器18が生成するフィードバック操作量 K_{STR} はLAFセンサ5の出力KACTが目標空燃比 K_{CMD} に一致する状態で「目標空燃比 K_{CMD} 」となるものである。このため、該フィードバック操作量 K_{STR} を除算処理部19で目標空燃比 K_{CMD} により除算してなるフィードバック操作量 k_{str} （ $=K_{STR}/K_{CMD}$ ）が前記フィードバック補正係数 K_{FB} として使用できるようになっている。

【0088】そして、大局的フィードバック制御部15は、PID制御器17により生成されるフィードバック操作量 K_{LAF} と、適応制御器18が生成するフィードバック操作量 K_{STR} を目標空燃比 K_{CMD} により除算してなるフィードバック操作量 k_{str} とを切換部20で適宜、択一的に選択して、いずれか一方のフィードバック操作量 K_{LAF} 又は k_{str} を前記フィードバック補正係数 K_{FB} として使用し、該補正係数 K_{FB} を前記要求燃料噴射量 T_{cy1} に乗算

することにより該要求燃料噴射量 T_{cy1} を補正する。尚、かかる大局的フィードバック制御部15（特に適応制御器18）については後にさらに詳細に説明する。

【0089】前記局所的フィードバック制御部16は、LAFセンサ5の出力KACTから各気筒毎の実空燃比 $\#nA/F$ （ $n=1,2,3,4$ ）を推定するオブザーバ21と、このオブザーバ21により推定された各気筒毎の実空燃比 $\#nA/F$ から各気筒毎の空燃比のばらつきを解消するよう、PID制御を用いて各気筒毎の燃料噴射量のフィードバック補正係数 $\#nK_{LAF}$ をそれぞれ求める複数（気筒数個）のPID制御器22とを具備する。

【0090】ここで、オブザーバ21は、それを簡単に説明すると、各気筒毎の実空燃比 $\#nA/F$ の推定を次のように行うものである。すなわち、エンジン1からLAFセンサ5の箇所（各気筒毎の排ガスの集合部）にかけてのシステムを、エンジン1の各気筒毎の実空燃比 $\#nA/F$ からLAFセンサ5で検出される空燃比を生成するシステムと考え、これを、LAFセンサ5の検出応答遅れ（例えば一次遅れ）や、LAFセンサ5で検出される空燃比に対するエンジン1の各気筒毎の空燃比の時間的寄与度を考慮してモデル化する。そして、そのモデルの基で、LAFセンサ5の出力KACTから、逆算的に各気筒毎の実空燃比 $\#nA/F$ を推定する。

【0091】尚、このようなオブザーバ21は、本願出願人が例えば特開平7-83094号公報に詳細に開示しているため、ここでは、さらなる説明を省略する。

【0092】また、局所的フィードバック制御部16の各PID制御器22は、LAFセンサ5の出力KACTを、前回の制御サイクルで各PID制御器22により求められたフィードバック補正係数 $\#nK_{LAF}$ の全気筒についての平均値により除算してなる値を各気筒の空燃比の目標値として、その目標値とオブザーバ21により求められた各気筒毎の実空燃比 $\#nA/F$ の推定値との偏差が解消するように、今回の制御サイクルにおける、各気筒毎のフィードバック補正係数 $\#nK_{LAF}$ を求める。

【0093】そして、局所的フィードバック制御部16は、前記要求燃料噴射量 T_{cy1} に大局的フィードバック制御部15のフィードバック補正係数 K_{FB} を乗算してなる値に、各気筒毎のフィードバック補正係数 $\#nK_{LAF}$ を乗算することで、各気筒の出力燃料噴射量 $\#nT_{out}$ （ $n=1,2,3,4$ ）を求める。

【0094】このようにして求められる各気筒の出力燃料噴射量 $\#nT_{out}$ は、機関側制御ユニット7bに備えた各気筒毎の付着補正部23により吸気管の壁面付着を考慮した補正が各気筒毎になされた後、エンジン1の図示しない燃料噴射装置に与えられ、その付着補正がなされた出力燃料噴射量 $\#nT_{out}$ で、エンジン1の各気筒への燃料噴射が行われるようになっている。

【0095】尚、上記付着補正については、本願出願人が例えば特開平8-21273号公報に詳細に開示して

10

20

30

40

50

いるので、ここではさらなる説明を省略する。また、図 1 において、参照符号 24 を付したセンサ出力選択処理部は、前記オブザーバ 21 による各気筒毎の実空燃比 $\phi_{A/F}$ の推定に適した L A F センサ 5 の出力 KACT をエンジン 1 の運転状態に応じて選択するもので、これについては、本願出願人が特開平 7-259488 号公報にて詳細に開示しているので、ここではさらなる説明を省略する。

【0096】一方、前記排気側制御ユニット 7a は、L A F センサ 5 の出力 KACT と所定の基準値 FLAF/BASE との偏差 $kact (= KACT - FLAF/BASE)$ を求める減算処理部 11 と、 O_2 センサ 6 の出力 $VO2/OUT$ とその目標値 $VO2/TARGET$ との偏差 $VO2 (= VO2/OUT - VO2/TARGET)$ を求める減算処理部 12 とを備えている。この場合、本実施形態では前記基準値 FLAF/BASE は空燃比換算で約「1」（一定値）に設定されている。また、 O_2 センサ 6 の出力 $VO2/OUT$ の目標値 $VO2/TARGET$ は、本実施形態では触媒装置 3 の最適な浄化性能が得られる所定の一定値とされている。

【0097】尚、以下の説明において、前記減算処理部 11、12 がそれぞれ求める偏差 $kact$ 、 $VO2$ をそれぞれ L A F センサ 5 の偏差出力 $kact$ 及び O_2 センサ 6 の偏差出力 $VO2$ と称する。

【0098】排気側制御ユニット 7a はさらに、上記の偏差出力 $kact$ 、 $VO2$ のデータをそれぞれ L A F センサ 5 の出力及び O_2 センサ 6 の出力を表すデータとして用い、それらのデータに基づいてエンジン 1 の目標空燃比 $KCMD$ (L A F センサ 5 により検出するエンジン 1 の空燃比の目標値) をエンジン 1 の空燃比を規定する操作量として逐次決定する空燃比操作量決定部 13 を備えている。

【0099】この空燃比操作量決定部 13 は、排気管 2 の L A F センサ 5 の箇所から O_2 センサ 6 の箇所に向け*

$$VO2(k+1) = a1 \cdot VO2(k) + a2 \cdot VO2(k-1) + b1 \cdot kact(k-d1) \quad (1)$$

【0104】この式 (1) は、対象排気系 E が L A F センサ 5 の偏差出力 $kact$ から、無駄時間要素及び応答遅れ要素を介して O_2 センサ 6 の偏差出力 $VO2$ を生成するプラントであると見なし、該対象排気系 E を離散系モデル (より詳しくは無駄時間を有する自己帰帰モデル) で表現したものである。

【0105】ここで、上式 (1) において、「k」は離散時間的な制御サイクルの番数を示し、「d1」は対象排気系 E の無駄時間 (第 1 無駄時間) を制御サイクル数で表したものである。この場合、対象排気系 E の無駄時間 (L A F センサ 5 が検出する各時点の空燃比が O_2 センサ 6 の出力 $VO2/OUT$ に反映されるようになるまでに要する時間) は、空燃比操作量決定部 13 の制御サイクルの周期 (これは本実施形態では一定である) を 30~100 ms としたとき、一般的には、3~10 制御サイクル

* での触媒装置 3 を含む排気系 (図 1 で参照符号 E を付した部分) を制御対象とし、 O_2 センサ 6 の出力 $VO2/OUT$ をその目標値 $VO2/TARGET$ に整定させるように (O_2 センサ 6 の偏差出力 $VO2$ を「0」に収束させるように)、前記目標空燃比 $KCMD$ を逐次決定するものである。

【0100】さらに詳しくいえば、空燃比操作量決定部 13 は、上記の対象排気系 E が有する無駄時間 (第 1 無駄時間) や、前記エンジン 1 及び機関側制御ユニット 7b が有する無駄時間 (第 2 無駄時間)、対象排気系 E の挙動変化等を考慮しつつ、適応スライディングモード制御を用いて O_2 センサ 6 の出力 $VO2/OUT$ をその目標値 $VO2/TARGET$ に整定させるようにエンジン 1 の目標空燃比 $KCMD$ を逐次決定するものである。

【0101】このような制御処理を行うために、本実施形態では、前記対象排気系 E を、前記 L A F センサ 5 の出力 KACT (空燃比の検出値) から無駄時間要素及び応答遅れ要素を介して O_2 センサ 6 の出力 $VO2/OUT$ (触媒装置 3 を通過した排ガス中の酸素濃度) を生成するプラントと見なし、それをあらかじめ離散系でモデル化する。また、前記エンジン 1 及び機関側制御ユニット 7b から成るシステム (以下、このシステムを空燃比操作系と称する) を、目標空燃比 $KCMD$ から無駄時間要素を介して L A F センサ 5 の出力 KACT を生成するシステムと見なし、それをあらかじめ離散系でモデル化する。

【0102】この場合、本実施形態では、対象排気系 E の離散系モデルは、空燃比操作量決定部 13 による処理の簡素化を図るために、L A F センサ 5 の出力 KACT 及び O_2 センサ 6 の出力 $VO2/OUT$ の代わりに、L A F センサ 5 の前記偏差出力 $kact (= KACT - FLAF/BASE)$ と O_2 センサ 6 の前記偏差出力 $VO2 (= VO2/OUT - VO2/TARGET)$ とを用いて、次式 (1) により表す。

【0103】

【数 1】

分の時間 ($d1 = 3 \sim 10$) である。そして、本実施形態では、式 (1) により表した対象排気系 E の離散系モデルにおける無駄時間 $d1$ の値として、対象排気系 E の実際の無駄時間と等しいか、もしくはそれよりも若干長いものにあらかじめ設定した所定の一定値 (本実施形態では $d1 = 7$) を用いる。

【0106】また、式 (1) の右辺第 1 項及び第 2 項はそれぞれ対象排気系 E の応答遅れ要素に対応するもので、第 1 項は 1 次目の自己帰帰項、第 2 項は 2 次目の自己帰帰項である。そして、「a1」、「a2」はそれぞれ 1 次目の自己帰帰項のゲイン係数、2 次目の自己帰帰項のゲイン係数である。

【0107】さらに、式 (1) の右辺第 3 項は対象排気系 E の無駄時間要素に対応するもので、「b1」はその無駄時間要素に係わるゲイン係数である。これらのゲイン

係数 a_1 , a_2 , b_1 は離散系モデルを規定するパラメータであり、本実施形態では後述の同定器によって逐次同定するものである。

【0108】一方、前記空燃比操作系（エンジン1及び機関側制御ユニット7bからなるシステム）の離散系モデルは、本実施形態では、対象排気系Eのモデルの場合と同様にLAFセンサ5の出力KACTの代わりにLAFセンサ5の前記偏差出力 $kact$ （ $= KACT - FLAF / BASE$ ）を用いると共に、これに対応させて目標空燃比 $KCMD$ の代わりに該目標空燃比 $KCMD$ の前記基準値 $FLAF / BASE$ に対する偏差 $kcmd$ （ $= KCMD - FLAF / BASE$ 。これはLAFセンサ5の偏差出力 $kact$ の目標値に相当する。以下、これを目標偏差空燃比 $kcmd$ という）とを用い、次式（2）により表す。

【0109】

【数2】

$$kact(k) = kcmd(k - d2) \quad (2)$$

【0110】この式（2）は空燃比操作系が前記目標偏差空燃比 $kcmd$ から無駄時間要素を介してLAFセンサ5の偏差出力 $kact$ を生成するシステム（各制御サイクルにおける偏差出力 $kact$ が無駄時間前の目標偏差空燃比 $kcmd$ に一致するようなシステム）であると見なして、該空燃比操作系を離散系モデルで表現したものである。

【0111】ここで、式（2）において、「 $d2$ 」が空燃比操作系の無駄時間（第2無駄時間）を空燃比操作量決定部13の制御サイクル数で表したものである。この場合、空燃比操作系の無駄時間（各時点の目標空燃比 $KCMD$ がLAFセンサ5の出力KACTに反映されるようになるまでに要する時間）は、例えば図4に示すようにエンジン1の回転数 NE によって変化し、エンジン1の回転数が低くなる程、長くなる。そして、本実施形態では、式（2）により表した空燃比操作系の離散系モデルにおける無駄時間 $d2$ の値としては、上記のような空燃比操作系の無駄時間の特性を考慮し、例えばエンジン1の低速回転域の回転数であるアイドル回転数において実際の空燃比操作系が有する無駄時間（これは、エンジン1の任意の回転数において空燃比操作系が採り得る最大側の無駄時間である）と等しいか、もしくはそれよりも若干長いものにあらかじめ設定した所定の一定値（本実施形態では $d2 = 3$ ）を用いる。

【0112】尚、空燃比操作系には、実際には、無駄時間要素の他、エンジン1の応答遅れ要素も含まれるのであるが、目標空燃比 $KCMD$ に対するLAFセンサ5の出力KACTの応答遅れは、基本的にはフィードバック制御部14（特に適応制御器18）によって補償されるため、空燃比操作量決定部13から見た空燃比操作系では、エンジン1の応答遅れ要素を考慮せずとも支障はない。

【0113】本実施形態における前記空燃比操作量決定部13は、式（1）及び式（2）により表される離散系モデルに基づき、所定（一定）の制御サイクルで目標空

燃比 $KCMD$ を決定するための制御処理を行うものであり、その機能的構成は、図3に示すように大別される。

【0114】すなわち、空燃比操作量決定部13は、LAFセンサ5の偏差出力 $kact$ 及び O_2 センサ6の偏差出力 $V02$ のデータから、前記対象排気系Eの離散系モデルの設定すべきパラメータである前記ゲイン係数 a_1 , a_2 , b_1 の値を制御サイクル毎に逐次同定する同定器25と、LAFセンサ5の偏差出力 $kact$ 、 O_2 センサ6の偏差出力 $V02$ 、及び以下に述べるスライディングモード制御器27が過去に求めた目標空燃比 $KCMD$ （より正確には目標偏差空燃比 $kcmd$ ）のデータから、前記同定器25により同定された前記ゲイン係数 a_1 , a_2 , b_1 の同定値 $a1$ ハット、 $a2$ ハット、 $b1$ ハット（以下、同定ゲイン係数 $a1$ ハット、 $a2$ ハット、 $b1$ ハットという）を用いて、対象排気系Eの無駄時間 $d1$ 及び空燃比操作系の無駄時間 $d2$ を合わせた合計無駄時間 d （ $= d1 + d2$ ）後の O_2 センサ6の偏差出力 $V02$ の推定値 $V02$ バー（以下、推定偏差出力 $V02$ バーという）を制御サイクル毎に逐次求める推定器26（推定手段）と、該推定器26により求められた O_2 センサ6の推定偏差出力 $V02$ バーのデータから、前記同定ゲイン係数 $a1$ ハット、 $a2$ ハット、 $b1$ ハットを用いて適応スライディングモード制御により前記目標空燃比 $KCMD$ を制御サイクル毎に逐次決定するスライディングモード制御器27とにより構成されている。

【0115】これらの同定器25、推定器26及びスライディングモード制御器27による演算処理のアルゴリズムは前記離散系モデルに基づいて以下のように構築されている。

【0116】まず、前記同定器25に関し、前記離散系モデルのゲイン係数 a_1 , a_2 , b_1 に対応する実際の対象排気系Eのゲイン係数は一般に該対象排気系Eの挙動状態や経時的な特性変化等によって変化する。従って、前記対象排気系Eの離散系モデル（式（1））の実際の対象排気系Eに対するモデル化誤差を極力少なくして該離散系モデルの精度を高めるためには、離散系モデルのゲイン係数 a_1 , a_2 , b_1 を実際の対象排気系Eの挙動状態等に則して適宜、リアルタイムで同定することが好ましい。

【0117】前記同定器25は、上記のように対象排気系Eの離散系モデルのモデル化誤差を極力小さくするために、前記ゲイン係数 a_1 , a_2 , b_1 をリアルタイムで逐次同定するものであり、その同定処理は次のように行われる。

【0118】すなわち、同定器25は、所定の制御サイクル毎に、まず、今現在設定されている離散系モデルの同定ゲイン係数 $a1$ ハット、 $a2$ ハット、 $b1$ ハット、すなわち前回の制御サイクルで決定した同定ゲイン係数 $a1(k-1)$ ハット、 $a2(k-1)$ ハット、 $b1(k-1)$ ハットと、LAFセンサ5の偏差出力 $kact$ 及び O_2 センサ6の偏差出力 $V02$ の過去に得られたデータとを用いて、次式（3）により今現在設定されている離散系モデル上での O_2 セン

サ6の偏差出力VO2の同定値VO2(k)ハット(以下、同定偏差出力VO2(k)ハットという)を求める。

※【0119】

※【数3】

$$\hat{VO}_2(k) = \hat{a}_1(k-1) \cdot VO_2(k-1) + \hat{a}_2(k-1) \cdot VO_2(k-2) + \hat{b}_1(k-1) \cdot kact(k-d_1-1)$$

(3)

【0120】この式(3)は、対象排気系Eの離散系モデルを表す前記式(1)を1制御サイクル分、過去側にシフトし、ゲイン係数a1、a2、b1を同定ゲイン係数a1ハット(k-1)、a2ハット(k-1)、b1ハット(k-1)で置き換えたものである。また、式(3)の第3項で用いる対象排気系Eの無駄時間d1の値は、前述の如く設定した一定値(本実施形態ではd1=7)を用いる。

【0121】ここで、次式(4)、(5)で定義されるベクトルΘ及びξを導入すると(式(4)、(5)中の添え字「T」は転置を意味する。以下同様。)、

【0122】

【数4】

$$\Theta^T(k) = [\hat{a}_1(k) \ \hat{a}_2(k) \ \hat{b}_1(k)] \quad (4)$$

【0123】

【数5】

$$\xi^T(k) = [VO_2(k-1) \ VO_2(k-2) \ kact(k-d_1-1)] \quad (5)$$

【0124】前記式(3)は、次式(6)により表される。

【0125】

【数6】

$$\hat{VO}_2(k) = \Theta^T(k-1) \cdot \xi(k) \quad (6)$$

【0126】さらに同定器25は、前記式(3)あるいは式(6)により求められるO₂センサ6の同定偏差出力VO2ハットと今現在のO₂センサ6の偏差出力VO2との偏差id/eを離散系モデルの実際の対象排気系Eに対するモデル化誤差を表すものとして次式(7)により求める(以下、偏差id/eを同定誤差id/eという)。

30

※

※【0127】

【数7】

$$id/e(k) = VO_2(k) - \hat{VO}_2(k) \quad (7)$$

【0128】そして、同定器25は、上記同定誤差id/eを最小にするように新たな同定ゲイン係数a1(k)ハット、a2(k)ハット、b1(k)ハット、換言すれば、これらの同定ゲイン係数を要素とする新たな前記ベクトルΘ(k)(以下、このベクトルを同定ゲイン係数ベクトルΘという)を求めるもので、その算出を、次式(8)により行う。すなわち、同定器25は、前回の制御サイクルで決定した同定ゲイン係数a1ハット(k-1)、a2ハット(k-1)、b1ハット(k-1)を、同定誤差id/eに比例させた量だけ変化させることで新たな同定ゲイン係数a1(k)ハット、a2(k)ハット、b1(k)ハットを求める。

【0129】

20 【数8】

$$\Theta(k) = \Theta(k-1) + K\theta(k) \cdot id/e(k) \quad (8)$$

【0130】ここで、式(8)中の「Kθ」は次式(9)により決定される三次のベクトル(各同定ゲイン係数a1ハット、a2ハット、b1ハットの同定誤差id/eに応じた変化度合いを規定するゲイン係数ベクトル)である。

【0131】

【数9】

$$K\theta(k) = \frac{P(k-1)\xi(k)}{1 + \xi^T(k)P(k-1)\xi(k)} \quad (9)$$

【0132】また、上式(9)中の「P」は次式(10)の漸化式により決定される三次の正方行列である。

【0133】

【数10】

$$P(k) = \frac{1}{\lambda_1(k)} \left[1 - \frac{\lambda_2(k)P(k-1)\xi(k)\xi^T(k)}{\lambda_1(k) + \lambda_2(k)\xi^T(k)P(k-1)\xi(k)} \right] P(k-1) \quad (10)$$

(但しλ:単位行列)

【0134】尚、式(10)中の「λ₁」、「λ₂」は0 < λ₁ ≤ 1及び0 ≤ λ₂ < 2の条件を満たすように設定され、また、「P」の初期値P(0)は、その各対角成分を正の数とする対角行列である。

【0135】この場合、式(10)中の「λ₁」、「λ₂」の設定の仕方によって、固定ゲイン法、漸減ゲイン法、重み付き最小二乗法、最小二乗法、固定トレース法等、各種の具体的なアルゴリズムが構成され、本実施形態では、例えば最小二乗法(この場合、λ₁ = λ₂ = 1)を採用している。

【0136】本実施形態における同定器25は基本的に前述のようなアルゴリズム(演算処理)によって、前

40 同定誤差id/eを最小化するように離散系モデルの前記同定ゲイン係数a1ハット、a2ハット、b1ハットを制御サイクル毎に逐次求めるもので、このような処理によって、実際の対象排気系Eに適合した同定ゲイン係数a1ハット、a2ハット、b1ハットが逐次得られる。

【0137】以上説明した演算処理が同定器25による基本的な処理内容である。尚、本実施形態では、同定器25は、同定ゲイン係数a1ハット、a2ハット、b1ハットを求めるに際して、それらの値の制限処理等、付加的な処理も行うのであるが、これらについては後述する。

50 【0138】次に、前記推定器26は、後に詳細を説明するスライディングモード制御器27による目標空燃比

KCMDの決定処理に際しての対象排気系Eの無駄時間d₁及び前記空燃比操作系の無駄時間d₂の影響を補償するために、前記合計無駄時間d(=d₁+d₂)後のO₂センサ6の偏差出力VO₂の推定値である前記推定偏差出力VO₂バーを制御サイクル毎に逐次求めるものであり、その推定処理は次のように行われる。

$$\begin{aligned} \text{VO}_2(k+1) &= a_1 \cdot \text{VO}_2(k) + a_2 \cdot \text{VO}_2(k-1) + b_1 \cdot \text{kcmd}(k-d_1-d_2) \\ &= a_1 \cdot \text{VO}_2(k) + a_2 \cdot \text{VO}_2(k-1) + b_1 \cdot \text{kcmd}(k-d) \end{aligned} \quad (11)$$

【0141】この式(11)は、対象排気系E及び空燃比操作系を合わせた系を、目標偏差空燃比kcmdから対象排気系E及び空燃比操作系の両者の無駄時間要素と対象排気系Eの応答遅れ要素とを介してO₂センサ6の偏差出力VO₂を生成するシステムを見なして、該システムを離散系モデルで表現したものである。

【0142】さらに、この式(11)に対し、次式(12)により定義されるベクトルXを導入すると、

【0143】

【数12】

$$X(k) = \begin{bmatrix} \text{VO}_2(k) \\ \text{VO}_2(k-1) \end{bmatrix} \quad (12)$$

【0144】式(11)は次式(13)に書き換えられる。

【0145】

※

$$X(k+d) = \begin{bmatrix} \text{VO}_2(k+d) \\ \text{VO}_2(k+d-1) \end{bmatrix} = A^d \cdot X(k) + \sum_{j=1}^d A^{d-j} \cdot B \cdot \text{kcmd}(k-j) \quad (14)$$

【0148】この場合、式(14)の左辺の第1行成分が合計無駄時間d後のO₂センサ6の偏差出力VO₂(k+d)であるから、その推定値(推定偏差出力)VO₂(k+d)バーは、式(14)の右辺の第1行成分を演算することで求めることができる。

【0149】そこで、式(14)の両辺の第1行成分に着目し、右辺第1項の行列A^dの第1行第1列成分及び第1行第2列成分をそれぞれα₁、α₂とおき、右辺第2項のベクトルA^{j-1}・B(j=1,2,...,d)の第1行成分をそれぞれβ_j(j=1,2,...,d)とおくと、O₂セン★

$$\overline{\text{VO}_2}(k+d) = a_1 \cdot \text{VO}_2(k) + a_2 \cdot \text{VO}_2(k-1) + \sum_{j=1}^d \beta_j \cdot \text{kcmd}(k-j) \quad (15)$$

【0151】また、式(15)中の係数値α₁、α₂及びβ_j(j=1,2,...,d)は、行列A及びベクトルBの成分(式(13)参照)を構成するゲイン係数a₁、a₂、b₁として、前記同定器25により求められた同定ゲイン係数a₁ハット、a₂ハット、b₁ハットを用い、それらの行列A及びベクトルBから前記式(14)中の行列A^d及びベクトルA^{j-1}・B(j=1,2,...,d)を求めることで決定することができる。

【0152】尚、式(15)の演算に必要な合計無駄時間dの値としては、前述の如く設定した対象排気系Eの無駄時間d₁の設定値と、空燃比操作系の無駄時間d₂の設定値との和(d₁+d₂)を用いればよい。

【0153】これが、推定器26により合計無駄時間d

*【0139】まず、対象排気系Eの離散系モデルを表す前記式(1)に、空燃比操作系のモデルを表す式(2)を適用すると、式(1)は次式(11)に書き換えることができる。

【0140】

【数11】

※【数13】

$$X(k+1) = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} X(k) + \begin{bmatrix} b_1 \\ 0 \end{bmatrix} \cdot \text{kcmd}(k-d) \quad (13)$$

$$= A \cdot X(k) + B \cdot \text{kcmd}(k-d)$$

$$\left(\text{但し } A = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} b_1 \\ 0 \end{bmatrix} \right)$$

【0146】ここで、式(13)の漸化式を繰り返し利用すると、前記合計無駄時間d後のベクトルX(k+d)は、式(13)中で定義した行列A及びベクトルBと目標偏差空燃比kcmdの時系列データkcmd(k-j)(j=1,2,...,d)とを用いて、次式(14)により表される。

【0147】

【数14】

20

★サ6の推定偏差出力VO₂(k+d)バーは、O₂センサ6の偏差出力VO₂の時系列データVO₂(k)及びVO₂(k-1)と、スライディングモード制御器27が求める目標空燃比KCMD(詳細な求め方は後述する)に相当する目標偏差空燃比kcmd(=KCMD-FLAF/BASE)の過去値の時系列データkcmd(k-j)(j=1,2,...,d)とを用いて次式(15)により求めることができる。

【0150】

【数15】

後のO₂センサ6の推定偏差出力VO₂(k+d)バーを求めるための基本的なアルゴリズムである。

40 【0154】ところで、推定偏差出力VO₂(k+d)バーを求めるための基本式である式(15)中の目標偏差空燃比kcmdの過去値の時系列データkcmd(k-j)(j=1,2,...,d)のうち、現在から空燃比操作系の無駄時間d₂以前の目標偏差空燃比kcmdの過去値の時系列データkcmd(k-d-2), kcmd(k-d-2-1), ..., kcmd(k-d)は前記式(2)によって、それぞれ、LAFセンサ5の偏差出力kactの現在以前に得られるデータkact(k), kact(k-1), ..., kact(k-d+d₂)に置き換えることができる。また、式(15)において使用する目標偏差空燃比kcmdは、計算上の空燃比に相当するものであるのに対し、LAFセンサ5の偏

50

差出力kactは、前記空燃比操作系（エンジン1及び機関側制御ユニット7bからなるシステム）が生成したエンジン1の実際の空燃比に相当するものである。従って、エンジン1等の実際の挙動状態に即して、センサ6の推定偏差出力V02(k+d)バーを求め、該推定偏差出力V02(k+d)バーの信頼性を高める上では、できるだけ目標偏差空燃比kcmdよりもLAFセンサ5の偏差出力kactを用いて推定偏差出力V02(k+d)バーを求めることが好ましいと考えられる。

【0155】そこで、本実施形態では、推定器26は、式(15)中の目標偏差空燃比kcmdの過去値の時系列データ

$$\begin{aligned} \overline{V02}(k+d) &= \alpha_1 \cdot V02(k) + \alpha_2 \cdot V02(k-1) \\ &\quad + \sum_{j=1}^{d-1} \beta_j \cdot kcmd(k-j) + \sum_{j=0}^{d-d_2} \beta_{j+d_2} \cdot kact(k-j) \\ &= \alpha_1 \cdot V02(k) + \alpha_2 \cdot V02(k-1) \\ &\quad + \sum_{j=1}^{d-1} \beta_j \cdot kcmd(k-j) + \sum_{j=0}^{d_1} \beta_{j+d_2} \cdot kact(k-j) \end{aligned} \quad (16)$$

【0157】換言すれば、推定器26は、 O_2 センサ6の偏差出力V02の時系列データV02(k)及びV02(k-1)と、スライディングモード制御器27が過去に求めた目標空燃比KCMDを表す目標偏差空燃比kcmdの過去値のデータkcmd(k-j) ($j=1, \dots, d_2-1$)と、LAFセンサ5の偏差出力kactの時系列データkact(k-j) ($j=0, \dots, d_1$)とを用いて式(16)の演算を行うことによって、 O_2 センサ6の推定偏差出力V02(k+d)バーを求める。

【0158】尚、この式(16)で用いる無駄時間d1、※

$$\begin{aligned} \overline{V02}(k+d) &= \alpha_1 \cdot V02(k) + \alpha_2 \cdot V02(k-1) \\ &\quad + \beta_1 \cdot kcmd(k-1) \\ &\quad + \beta_2 \cdot kcmd(k-2) \\ &\quad + \beta_3 \cdot kact(k) + \dots + \beta_{10} \cdot kact(k-7) \end{aligned} \quad (17)$$

【0161】これが、本実施形態において推定器26が O_2 センサ6の推定偏差出力V02(k+d)バーを求めるための演算処理（推定アルゴリズム）である。

【0162】尚、空燃比操作系の無駄時間d2は、空燃比操作量決定部13の制御サイクルの周期、あるいは空燃比制御を行おうとするエンジン1の回転数等によって、d2=1として設定してもよい場合がある。そしてこの場合には、式(15)中の目標偏差空燃比kcmdの過去★

データkcmd(k-j) ($j=1, 2, \dots, d$)のうち、現在から空燃比操作系の無駄時間d2以前の目標偏差空燃比kcmdの過去値の時系列データkcmd(k-d2), kcmd(k-d2-1), ..., kcmd(k-d)の全てをそれぞれ、LAFセンサ5の偏差出力kactの現在以前に得られるデータkact(k), kact(k-1), ..., kact(k-d+d2)（尚、kact(k-d+d2)=kact(k-d1)である）で置き換えてなる次式(16)により、合計無駄時間d後の O_2 センサ6の推定偏差出力V02(k+d)バーを制御サイクル毎に求める。

【0156】
【数16】

※d2の値としては、本実施形態ではそれぞれ前述の如く設定した値を用いる。

【0159】具体的には、本実施形態では、d1=7、d2=3に設定しており、この場合には、 O_2 センサ6の推定偏差出力V02(k+d)バーは、次式(17)により求めることとなる。

【0160】
【数17】

★値の時系列データkcmd(k-j) ($j=1, 2, \dots, d$)の全てをそれぞれ、LAFセンサ5の偏差出力kactの現在以前に得られるデータkact(k), kact(k-1), ..., kact(k-d+d2)に置き換えることができる。このため、この場合には、式(15)は、目標偏差空燃比kcmdのデータを含まない次式(18)に書き換えられる。

【0163】
【数18】

$$\overline{V02}(k+d) = \alpha_1 \cdot V02(k) + \alpha_2 \cdot V02(k-1) + \sum_{j=0}^{d-1} \beta_{j+1} \cdot kact(k-j) \quad (18)$$

【0164】従って、空燃比操作系の無駄時間d2が、空燃比操作量決定部13の制御サイクルの周期と同程度であるような場合には、推定偏差出力V02(k+d)バーは、 O_2 センサ6の偏差出力V02の時系列データV02(k)及びV02(k-1)と、LAFセンサ5の偏差出力kactの時系列データkact(k-j) ($j=0, \dots, d_1$)とを用いて式(18)の演算を行うことによって求めることができることとなる。

【0165】また、式(15)中の目標偏差空燃比kcmd(k-j) ($j=1, 2, \dots, d$)は、式(2)を適用すること

で、形式上は全ての目標偏差空燃比kcmd(k-j) ($j=1, 2, \dots, d$)をそれぞれLAFセンサ5の偏差出力kact(k-j+d2) ($j=1, 2, \dots, d$)で置き換えることができる。但し、このような置き換えを行っても、空燃比操作系の無駄時間d2がd2>1である場合には、LAFセンサ5の偏差出力kactの未来値（例えばkact(k+1)）が必要となり、実質的に推定偏差出力V02(k+d)バーを求めることができないものとなる。つまり、d2>1である場合には、少なくとも一つの目標偏差空燃比kcmdのデータが必要である。

【0166】次に、前記スライディングモード制御器27を詳細に説明する。

【0167】ここで、まず、一般的なスライディングモード制御について図5を参照して簡単に説明しておく。

【0168】スライディングモード制御は、可変構造型のフィードバック制御手法であり、この制御手法においては、例えば制御対象の制御すべき状態量を x_1 、 x_2 の二つとした場合、これらの状態量 x_1 、 x_2 を変数とする線形関数 $\sigma = s_1 x_1 + s_2 x_2$ (s_1 、 s_2 は係数)を用いて、 $\sigma = 0$ により表される超平面をあらかじめ設計しておく。尚、この超平面 $\sigma = 0$ は位相空間が二次系の場合(状態量が二つの場合)は、しばしば切換線と呼ばれ、線形関数 σ は切換関数と呼ばれている。位相空間の次数がさらに大きくなると、切換線から切換面となり、さらには幾何学的に図示できなくなる超平面になる。また、超平面はすべり面と呼ばれることもある。

【0169】そして、このスライディングモード制御は、例えば図5の点Pで示すように、状態量 x_1 、 x_2 が $\sigma \neq 0$ となっている場合に、所謂、到達則に従って、状態量 x_1 、 x_2 をハイゲイン制御によって超平面 $\sigma = 0$ 上に高速で収束させ(モード1)、さらに所謂、等価制御入力によって状態量 x_1 、 x_2 を超平面 $\sigma = 0$ 上に拘束しつつ超平面 $\sigma = 0$ 上の平衡点($x_1 = x_2 = 0$ の点)に収束させる(モード2)ものである。

【0170】このようなスライディングモード制御においては、状態量 x_1 、 x_2 を超平面 $\sigma = 0$ 上に収束させ、該超平面 $\sigma = 0$ 上に拘束させさえすれば、外乱等の影響を受けることなく、極めて安定に状態量 x_1 、 x_2 を超平面 $\sigma = 0$ の平衡点に収束させることができるという特性をもっている。尚、外乱や制御対象のモデル化誤差があると、状態量 x_1 、 x_2 は厳密には上記平衡点($x_1 = x_2 = 0$ の点)には収束せず、該平衡点の近傍に収束する。

【0171】一方、かかるスライディングモード制御では、上記モード1において状態量 x_1 、 x_2 を超平面 $\sigma = 0$ 上に収束させるに際しては、外乱等の影響があると、前記到達則だけでは、状態量 x_1 、 x_2 を超平面 $\sigma = 0$ 上に安定に収束させることが困難となる場合も多い。このため、近年では、到達則に加えて、外乱の影響を排除しつつ状態量を超平面上に収束させるための適応則を用いた適応スライディングモード制御という手法が提案されている(例えばコロナ社により1994年10月20日に発刊された「スライディングモード制御—非線形ロバスト制御の設計理論—」と題する文献の第134頁～第135頁を参照)。

【0172】本実施形態の前記スライディングモード制御器27は、このような適応スライディングモード制御を用いて、 O_2 センサ6の出力 $VO2/OUT$ をその目標値 $VO2/TARGET$ に整定させるように(O_2 センサ6の偏差出力 $VO2$ を「0」に収束させるように)、制御対象である前

記対象排気系Eに与えるべき入力(詳しくは、 $LA F$ センサ5の出力 $KACT$ (空燃比の検出値)と前記基準値 $FLAF/BASE$ との偏差の目標値で、これは前記目標偏差空燃比 $kcmd$ に等しい。以下、この入力を SLD 操作入力 usl と称する)を決定し、その決定した SLD 操作入力 usl から前記目標空燃比 KMD を決定するものである。そして、その処理のためのアルゴリズムは次のように構築されている。

【0173】まず、スライディングモード制御器27の適応スライディングモード制御に必要な超平面の構築について説明する。

【0174】本実施形態におけるスライディングモード制御の基本的な考え方としては、制御すべき状態量として、例えば各制御サイクルで得られた O_2 センサ6の偏差出力 $VO2(k)$ と、その1制御サイクル前に得られた偏差出力 $VO2(k-1)$ とを用い、スライディングモード制御用の超平面を規定する線形関数 σ を次式(19)により定義する。尚、前記偏差出力 $VO2(k)$ 、 $VO2(k-1)$ を成分とするベクトルとして式(12)及び式(19)で定義したベクトル X を以下、状態量 X という。

【0175】

【数19】

$$\sigma(k) = s_1 \cdot VO2(k) + s_2 \cdot VO2(k-1)$$

$$= S \cdot X$$

$$\left(\text{但し } S = [s_1 \ s_2], X = \begin{bmatrix} VO2(k) \\ VO2(k-1) \end{bmatrix} \right) \quad (19)$$

【0176】このように線形関数 σ を定義したとき、スライディングモード制御用の超平面は $\sigma = 0$ により表され(この場合、状態量は二つであるので超平面は直線となる。図5参照)、この超平面 $\sigma = 0$ の平衡点は、 $VO2(k) = VO2(k-1) = 0$ となる点、すなわち、 O_2 センサ6の出力 $VO2/OUT$ の時系列データ $VO2/OUT(k)$ 、 $VO2/OUT(k-1)$ が目標値 $VO2/TARGET$ に一致するような点である。

【0177】この場合、線形関数 σ の係数 s_1 、 s_2 は、本実施形態では次式(20)の条件を満たすように設定する。

【0178】

【数20】

$$-1 < \frac{s_2}{s_1} < 1$$

$$(s_1 = 1 \text{ のとき } -1 < s_2 < 1) \quad (20)$$

【0179】この式(20)の条件は、 O_2 センサ6の偏差出力 $VO2$ を安定に「0」に収束させる(超平面 $\sigma = 0$ 上の状態量 X を超平面 $\sigma = 0$ の平衡点に収束させる)ための条件である。そして、本実施形態では、簡略化のために係数 $s_1 = 1$ とし(この場合、 $s_2/s_1 = s_2$ である)、 $-1 < s_2 < 1$ の条件を満たすように係数 s_2 の値を設定している。

【0180】尚、本実施形態では、線形関数の変数である状態量として、実際には前記推定器26により求められる前記推定偏差出力VO2バーの時系列データを用いるのであるがこれについては後述する。

【0181】一方、上記のように設定された超平面 $\sigma=0$ の平衡点に前記状態量 X を収束させるためにスライディングモード制御器27が適応スライディングモード制御により生成すべき前記SLD操作入力 u_{sl} (=目標偏差空燃比 k_{cmd})は、前記状態量 X を超平面 $\sigma=0$ 上に拘束するための制御則に従って対象排気系Eに与えるべき等価制御入力 u_{eq} と、状態量 X を超平面 $\sigma=0$ に収束させるための到達則に従って対象排気系Eに与えるべき入力 u_{rch} (以下、到達則入力 u_{rch} という)と、外乱等の影響を補償して状態量 X を超平面 $\sigma=0$ に収束させるための適応則に従って対象排気系Eに与えるべき入力 u_{adp} (以下、適応則入力 u_{adp} という)との総和により*

$$\sigma(k+1)=S \cdot A \cdot X(k)+S \cdot B \cdot k_{cmd}(k-d)=S \cdot X(k)=\sigma(k)$$

$$\therefore S \cdot (A-I) \cdot X(k)+S \cdot B \cdot k_{cmd}(k-d)=0 \quad (22)$$

【0186】ここで、等価制御入力 u_{eq} は、状態量 X を超平面 $\sigma=0$ に拘束するために対象排気系Eに与えるべき入力であり、上記式(22)の条件を満たす目標偏差空燃比 k_{cmd} が等価制御入力 u_{eq} である。

$$\begin{aligned} u_{eq}(k) &= -(S \cdot B)^{-1} \cdot \{S \cdot (A-I)\} \cdot X(k+d) \\ &= \frac{-1}{s_1 b_1} \cdot \{s_1 \cdot (a_1-1)+s_2\} \cdot VO2(k+d) \\ &\quad + (s_1 \cdot a_2 - s_2) \cdot VO2(k+d-1) \end{aligned} \quad (23)$$

【0189】この式(23)が本実施形態において、制御サイクル毎に等価制御入力 $u_{eq}(k)$ を求めるための基本式である。

【0190】次に、前記到達則入力 u_{rch} は、本実施形態では、基本的には次式(24)により決定するものとする。

【0191】

【数24】

$$\begin{aligned} u_{rch}(k) &= -(S \cdot B)^{-1} \cdot F \cdot \sigma(k+d) \\ &= \frac{-1}{s_1 b_1} \cdot F \cdot \sigma(k+d) \end{aligned} \quad (24)$$

【0192】すなわち、到達則入力 u_{rch} は、前記合計無駄時間 d を考慮し、合計無駄時間 d 後の線形関数 σ の値 $\sigma(k+d)$ に比例させるように決定する。

【0193】この場合、式(24)中の係数 F (これは到達則のゲインを規定する)は、次式(25)の条件を満たすように設定する。

【0194】

【数25】

*表される(次式(21)参照)。

【0182】

【数21】

$$u_{sl}=u_{eq}+u_{rch}+u_{adp} \quad (21)$$

【0183】そして、これらの等価制御入力 u_{eq} 、到達則入力 u_{rch} 及び適応則入力 u_{adp} は、本実施形態では、前記式(11)により表される離散系モデル(式(1)中のLAFセンサ5の偏差出力 $k_{act}(k-d)$ を合計無駄時間 d を用いた目標偏差空燃比 $k_{cmd}(k-d)$ で置き換えたモデル)に基づいて、次のように決定する。

【0184】まず、等価制御入力 u_{eq} に関し、前記状態量 X が超平面 $\sigma=0$ 上に留まる条件は、 $\sigma(k+1)=\sigma(k)=0$ であり、この条件は、前記式(11)及び式(19)を用いて、次式(22)に書き換えられる。

【0185】

【数22】

20※【0187】従って、等価制御入力 u_{eq} は、式(22)を整理することで、次式(23)により与えられる。

【0188】

※【数23】

$$0 < F < 2 \quad (25)$$

【0195】この式(25)の条件は、外乱等が無い場合において、線形関数 σ の値 $\sigma(k)$ を安定に超平面 $\sigma=0$ に収束させるための条件である。

【0196】尚、線形関数 σ の値の挙動に関しては、該線形関数 σ の値が超平面 $\sigma=0$ に対して振動的な変化(所謂チャタリング)を生じる虞れがあり、このチャタリングを抑制するためには、到達則入力 u_{rch} に係わる係数 F は、さらに次式(26)の条件を満たすように設定することが好ましい。

40【0197】

【数26】

$$0 < F < 1 \quad (26)$$

【0198】次に、前記適応則入力 u_{adp} は、本実施形態では、基本的には次式(27)により決定するものとする(式(27)中の ΔT は空燃比操作量決定部13の制御サイクルの周期である)。

【0199】

【数27】

$$\begin{aligned}
 U_{\text{adp}}(k) &= -(S \cdot B)^{-1} \cdot G \cdot \sum_{i=0}^{k+d} (\sigma(i) \cdot \Delta T) \\
 &= \frac{-1}{s1b1} \cdot G \cdot \sum_{i=0}^{k+d} (\sigma(i) \cdot \Delta T)
 \end{aligned}
 \quad (27)$$

【0200】すなわち、適応則入力 u_{adp} は、合計無駄時間 d を考慮し、該合計無駄時間 d 後までの線形関数 σ の値の制御サイクル毎の積算値（これは線形関数 σ の値の積分値に相当する）に比例させるように決定する。

【0201】この場合、式（27）中の係数 G （これは適応則のゲインを規定する）は、次式（28）の条件を満たすように設定する。

【0202】

【数28】

$$G = J \cdot \frac{2-F}{\Delta T} \quad (28)$$

(但し、 $0 < J < 2$)

【0203】この式（28）の条件は、外乱等によらずに線形関数 σ の値 $\sigma(k)$ を安定に超平面 $\sigma = 0$ に収束させるための条件である。

【0204】尚、前記式（20）、（25）、（26）、（28）の設定条件のより具体的な導出の仕方については、本願出願人が既に特願平9-251142号等にて詳細に説明しているため、ここでは詳細な説明を省略する。

【0205】本実施形態におけるスライディングモード制御器27は、基本的には前記式（23）、（24）、（27）により決定される等価制御入力 u_{eq} 、到達則入力 u_{rch} 及び適応則入力 u_{adp} の総和（ $u_{\text{eq}} + u_{\text{rch}} + u_{\text{adp}}$ ）を対象排気系 E に与えるべき SLD 操作入力 u_{s1} として決定するのであるが、前記式（23）、（24）、（27）で使用する O_2 センサ6の偏差出力 $V02(k+d)$ 、 $V02(k+d-1)$ や、線形関数 σ の値 $\sigma(k+d)$ 等は未来値であるので直接的には得られない。

【0206】そこで、本実施形態では、スライディングモード制御器27は、実際には、前記式（23）により前記等価制御入力 u_{eq} を決定するための O_2 センサ6の偏差出力 $V02(k+d)$ 、 $V02(k+d-1)$ の代わりに、前記推定器26で求められる推定偏差出力 $V02(k+d)$ バー、 $V02(k+d-1)$ バーを用い、次式（29）により制御サイクル毎の等価制御入力 u_{eq} を算出する。

【0207】

【数29】

$$\begin{aligned}
 U_{\text{eq}}(k) &= \frac{-1}{s1b1} \{ [s1 \cdot (a1-1) + s2] \cdot \overline{V02}(k+d) \\
 &\quad + (s1 \cdot a2 - s2) \cdot \overline{V02}(k+d-1) \}
 \end{aligned}
 \quad (29)$$

【0208】また、本実施形態では、実際には、推定器26により前述の如く逐次求められた推定偏差出力 $V02$ バーの時系列データを制御すべき状態量とし、前記式（19）により設定された線形関数 σ に代えて、次式

（30）により線形関数 σ バーを定義する（この線形関数 σ バーは、前記式（19）の偏差出力 $V02$ の時系列データを推定偏差出力 $V02$ バーの時系列データで置き換えたものに相当する）。

【0209】

【数30】

$$\overline{\sigma}(k) = s1 \cdot \overline{V02}(k) + s2 \cdot \overline{V02}(k-1) \quad (30)$$

【0210】そして、スライディングモード制御器27は、前記式（24）により前記到達則入力 u_{rch} を決定するための線形関数 σ の値の代わりに、前記式（30）により表される線形関数 σ バーの値を用いて次式（31）により制御サイクル毎の到達則入力 u_{rch} を算出する。

【0211】

【数31】

$$U_{\text{rch}}(k) = \frac{-1}{s1b1} \cdot F \cdot \overline{\sigma}(k+d) \quad (31)$$

【0212】同様に、スライディングモード制御器27は、前記式（27）により前記適応則入力 u_{adp} を決定するための線形関数 σ の値の代わりに、前記式（30）により表される線形関数 σ バーの値を用いて次式（32）により制御サイクル毎の適応則入力 u_{adp} を算出する。

【0213】

【数32】

$$U_{\text{adp}}(k) = \frac{-1}{s1b1} \cdot G \cdot \sum_{i=0}^{k+d} (\overline{\sigma}(i) \cdot \Delta T) \quad (32)$$

【0214】尚、前記式（29）、（31）、（32）により等価制御入力 u_{eq} 、到達則入力 u_{rch} 及び適応則入力 u_{adp} を算出する際に必要となる前記ゲイン係数 $a1$ 、 $a2$ 、 $b1$ としては、本実施形態では基本的には前記同定器25により求められた最新の同定ゲイン係数 $a1(k)$ ハット、 $a2(k)$ ハット、 $b1(k)$ ハットを用いる。

【0215】そして、スライディングモード制御器27は、前記式（29）、（31）、（32）によりそれぞれ求められる等価制御入力 u_{eq} 、到達則入力 u_{rch} 及び適応則入力 u_{adp} の総和を対象排気系 E に与えるべき前記 SLD 操作入力 u_{s1} として求める（前記式（21）を参照）。尚、この場合において、前記式（29）、（31）、（33）中で用いる前記係数 $s1$ 、 $s2$ 、 F 、 G の設定条件は前述の通りである。

【0216】これが、本実施形態において、スライディングモード制御器27により、対象排気系 E に与えるべき SLD 操作入力 u_{s1} （＝目標偏差空燃比 k_{cmd} ）を制御サイクル毎に決定するための基本的な演算処理（アルゴリズム）である。このようにして SLD 操作入力 u_{s1} を決定することで、該 SLD 操作入力 u_{s1} は、 O_2 センサ6の推定偏差出力 $V02$ バーを「0」に収束させるように（結果的には O_2 センサ6の出力 $V02$ を目標値 $V02/\text{TARG}$ ETに収束させるように）決定される。

【0217】ところで、本実施形態におけるスライディングモード制御器27は最終的には前記目標空燃比KCMDを制御サイクル毎に逐次求めるものがあるが、前述のように求められるSLD操作入力 u_{sl} は、LAFセンサ5で検出される排ガスの空燃比と前記基準値FLAF/BASEとの偏差の目標値、すなわち前記目標偏差空燃比 k_{cmd} である。このため、スライディングモード制御器27は、最終的には、次式(33)に示すように、制御サイクル毎に、前述の如く求めたSLD操作入力 u_{sl} に前記基準値FLAF/BASEを加算することで、目標空燃比KCMDを決定する。

【0218】

【数33】

$$KCMD(k) = u_{sl}(k) + FLAF/BASE$$

$$= u_{eq}(k) + u_{rch}(k) + u_{adp}(k) + FLAF/BASE \quad (33)$$

【0219】以上が本実施形態でスライディングモード制御器27により目標空燃比KCMDを決定するための基本的アルゴリズムである。

【0220】尚、本実施形態では、スライディングモード制御器27による適応スライディングモード制御の処理の安定性を判別して、前記SLD操作入力 u_{sl} の値を制限したりするのであるが、これについては後述する。

【0221】次に、前記機関側制御ユニット7bの大局的フィードバック制御部15、特に前記適応制御器18をさらに説明する。

【0222】前記図1を参照して、大局的フィードバック制御部15は、前述のようにLAFセンサ5の出力KACT(空燃比の検出値)を目標空燃比KCMDに収束させるようにフィードバック制御を行うものであるが、このとき、このようなフィードバック制御を周知のPID制御だけで行うようにすると、エンジン1の運転状態の変化や経年的特性変化等、動的な挙動変化に対して、安定した制御性を確保することが困難である。

*

$$A(Z^{-1}) = 1 + a_1 Z^{-1} + \dots + a_n Z^{-n} \quad (34)$$

【0226】

※ ※ 【数35】

$$B(Z^{-1}) = b_0 + b_1 Z^{-1} + \dots + b_m Z^{-m} \quad (35)$$

【0227】

★ 【0228】

【数36】

40 【数37】

$$\hat{\theta}^T(j) = [\hat{b}_0(j), \hat{B}_R(Z^{-1}, j), \hat{S}(Z^{-1}, j)]$$

$$= [b_0(j), r_1(j), \dots, r_{m+dp-1}(j), s_0(j), \dots, s_{n-1}(j)] \quad (36)$$

$$= [b_0(j), r_1(j), r_2(j), r_3(j), s_0(j)]$$

★

$$\zeta(j) = [u_s(j), \dots, u_s(j-m-dp+1), y_s(j), \dots, y_s(j-n+1)]$$

$$= [u_s(j), u_s(j-1), u_s(j-2), u_s(j-3), y_s(j)]$$

$$= [KSTR(j), KSTR(j-1), KSTR(j-2), KSTR(j-3), KACT(j)] \quad (37)$$

【0229】ここで、前記式(36)に示される適応パ

50 ラメータ θ ハットは、適応制御器18のゲインを決定す

* 【0223】前記適応制御器18は、上記のようなエンジン1の動的な挙動変化を補償したフィードバック制御を可能とする漸化式形式の制御器であり、I、D、ランダウ等により提唱されているパラメータ調整則を用いて、図6に示すように、複数の適応パラメータを設定するパラメータ調整部28と、設定された適応パラメータを用いて前記フィードバック操作量KSTRを算出する操作量算出部29とにより構成されている。

【0224】ここで、パラメータ調整部28について説明すると、ランダウ等の調整則では、離散系の制御対象の伝達関数 $B(Z^{-1})/A(Z^{-1})$ の分母分子の多項式を一般的に下記の式(34)、(35)のようにおいたとき、パラメータ調整部28が設定する適応パラメータ θ ハット(j)(jは制御サイクルの番数を示す)は、式(36)のようにベクトル(転置ベクトル)で表される。また、パラメータ調整部28への入力 $\zeta(j)$ は、式(37)のように表される。この場合、本実施形態では、大局的フィードバック制御部15の制御対象であるエンジン1が一次系で3制御サイクル分の無駄時間 d 。(エンジン1の燃焼サイクルの3サイクル分の時間)を持つプラントと考え、式(34)～式(37)で $m=n=1$ 、 $d_0=3$ とし、設定する適応パラメータは s_0, r_1, r_2, r_3, b_0 の5個とした(図6参照)。尚、式(37)の上段式及び中段式における u_s, y_s は、それぞれ、制御対象への入力(操作量)及び制御対象の出力(制御量)を一般的に表したものであるが、本実施形態では、上記入力をフィードバック操作量KSTR、制御対象(エンジン1)の出力を前記LAFセンサ5の出力KACT(空燃比の検出値)とし、パラメータ調整部28への入力 $\zeta(j)$ を、式(37)の下段式により表す(図6参照)。

【0225】

【数34】

るスカラー量要素 b 。ハット⁻¹ (Z^{-1} , j)、操作量を用

いて表現される制御要素 B 、ハット (Z^{-1} , j)、及び
制御量を用いて表現される制御要素 S (Z^{-1} , j) から
なり、それぞれ、次式 (38) ~ (40) により表現さ
れる (図 6 の操作量算出部 29 のブロック図を参照)。

[0230]

$$\begin{aligned} \hat{B}_R(Z^{-1}, j) &= r_1 Z^{-1} + r_2 Z^{-2} + \dots + r_{m+dp-1} Z^{-(m+dp-1)} \\ &= r_1 Z^{-1} + r_2 Z^{-2} + r_3 Z^{-3} \end{aligned} \quad (39)$$

[0232]

[数40]

$$\hat{S}(Z^{-1}, j) = s_0 + s_1 Z^{-1} + \dots + s_n Z^{-(n-1)} \quad (40)$$

[0233] パラメータ調整部 28 は、これらのスカ
ラ要素や制御要素の各係数を設定して、それを式 (3
6) に示す適応パラメータ θ ハットとして操作量算出部

$$\hat{\theta}(j) = \hat{\theta}(j-1) + \Gamma(j-1) \cdot \zeta(j-dp) \cdot e^*(j) \quad (41)$$

[0236] 同式 (41) において、 $\Gamma(j)$ は、適応パ
ラメータ θ ハットの設定速度を決定するゲイン行列 (こ
の行列の次数は $m+n+d$ 。)、 e アスタリスク (j)
は、適応パラメータ θ ハットの推定誤差を示すもので、

$$\Gamma(j) = \frac{1}{\lambda_1(j)} \left[\Gamma(j-1) - \frac{\lambda_2(j) \cdot \Gamma(j-1) \cdot \zeta(j-dp) \cdot \zeta^T(j-dp) \cdot \Gamma(j-1)}{\lambda_1(j) + \lambda_2(j) \cdot \zeta^T(j-dp) \cdot \Gamma(j-1) \cdot \zeta(j-dp)} \right]$$

$$\text{但し、} 0 < \lambda_1(j) \leq 1, 0 \leq \lambda_2(j) < 2, \Gamma(0) > 0 \quad (42)$$

[0238]

☆ ☆ [数43]

$$e^*(j) = \frac{D(Z^{-1}) \cdot KACT(j) - \hat{\theta}^T(j-1) \cdot \zeta(j-dp)}{1 + \zeta^T(j-dp) \cdot \Gamma(j-1) \cdot \zeta(j-dp)} \quad (43)$$

[0239] ここで、式 (43) 中の「 $D(Z^{-1})$ 」
は、収束性を調整するための、漸近安定な多項式であ
り、本実施形態では $D(Z^{-1}) = 1$ としている。

[0240] 尚、式 (42) の $\lambda_1(j)$ 、 $\lambda_2(j)$ の選び方
により、漸減ゲインアルゴリズム、可変ゲインアルゴ
リズム、固定トレースアルゴリズム、固定ゲインアルゴ
リズム等の種々の具体的なアルゴリズムが得られる。エン
ジン 1 の燃料噴射あるいは空燃比等の時変プラントで
は、漸減ゲインアルゴリズム、可変ゲインアルゴリズム
、固定ゲインアルゴリズム、および固定トレースアル

◆ゴリズムのいずれもが適している。

[0241] 前述のようにパラメータ調整部 28 により
設定される適応パラメータ θ ハット (s_0 , r_1 ,
 r_2 , r_3 , b_0) と、前記空燃比操作量決定部 13 に
より決定される目標空燃比 $KCMD$ とを用いて、操作量算出
部 29 は、次式 (44) の漸化式により、フィードバッ
ク操作量 $KSTR$ を求める。図 6 の操作量算出部 29 は、同
式 (44) の演算をブロック図で表したものである。

[0242]

[数44]

$$KSTR = \frac{KCMD - s_0 \cdot KACT(j) - r_1 \cdot KSTR(j-1) - r_2 \cdot KSTR(j-2) - r_3 \cdot KSTR(j-3)}{b_0}$$

(44)

[0243] 尚、式 (44) により求められるフィード
バック操作量 $KSTR$ は、LAF センサ 5 の出力 $KACT$ が目標
空燃比 $KCMD$ に一致する状態において、「目標空燃比 $KCMD$
」となる。このために、前述の如く、フィードバック
操作量 $KSTR$ を除算処理部 19 によって目標空燃比 $KCMD$ で
除算することで、前記フィードバック補正係数 KFB とし

て使用できるフィードバック操作量 $kstr$ を求めるように
している。

[0244] このように構築された適応制御器 18 は、
前述したことから明かなように、制御対象であるエン
ジン 1 の動的な挙動変化を考慮した漸化式形式の制御器
であり、換言すれば、エンジン 1 の動的な挙動変化を補

償するために、漸化式形式で記述された制御器である。そして、より詳しくは、漸化式形式の適応パラメータ調整機構を備えた制御器と定義することができる。

【0245】尚、この種の漸化式形式の制御器は、所謂、最適レギュレータを用いて構築する場合もあるが、この場合には、一般にはパラメータ調整機構は備えられておらず、エンジン1の動的な挙動変化を補償する上では、前述のように構成された適応制御器18が好適である。

【0246】以上が、本実施形態で採用した適応制御器18の詳細である。

【0247】尚、適応制御器18と共に、大局的フィードバック制御部15に具備したPID制御器17は、一般のPID制御と同様に、LAFセンサ5の出力KACTと、その目標空燃比KCMDとの偏差から、比例項(P項)、積分項(I項)及び微分項(D項)を算出し、それらの各項の総和をフィードバック操作量KLAFとして算出する。この場合、本実施形態では、積分項(I項)の初期値を“1”とすることで、LAFセンサ5の出力KACTが目標空燃比KCMDに一致する状態において、フィードバック操作量KLAFが“1”になるようにし、該フィードバック操作量KLAFをそのまま燃料噴射量を補正するための前記フィードバック補正係数KFBとして使用することができるようにしている。また、比例項、積分項及び微分項のゲインは、エンジン1の回転数と吸気圧とから、あらかじめ定められたマップを用いて決定される。

【0248】また、大局的フィードバック制御部15の前記切換部20は、エンジン1の冷却水温の低温時や、高速回転運転時、吸気圧の低圧時等、エンジン1の燃焼が不安定なものとなりやすい場合、あるいは、目標空燃比KCMDの変化が大きい時や、空燃比のフィードバック制御の開始直後等、これに応じたLAFセンサ6の出力KACTが、そのLAFセンサ5の応答遅れ等によって、信頼性に欠ける場合、あるいは、エンジン1のアイドル運転時のようエンジン1の運転状態が極めて安定していて、適応制御器18による高ゲイン制御を必要としない場合には、PID制御器17により求められるフィードバック操作量KLAFを燃料噴射量を補正するためのフィードバック補正係数KFBとして出力する。そして、上記のような場合以外の状態で、適応制御器18により求められるフィードバック操作量KSTRを目標空燃比KCMDで除算してなるフィードバック操作量kstrを燃料噴射量を補正するためのフィードバック補正係数KFBとして出力する。これは、適応制御器18が、高ゲイン制御で、LAFセンサ5の出力KACTを急速に目標空燃比KCMDに収束させるように機能するため、上記のようにエンジン1の燃焼が不安定となったり、LAFセンサ5の出力KACTの信頼性に欠ける等の場合に、適応制御器18のフィードバック操作量KSTRを用いると、かえって空燃比の制御が不安定なものとなる虞れがあるからである。

【0249】このような切換部20の作動は、例えば特開平8-105345号公報に本願出願人が詳細に開示しているもので、ここでは、さらなる説明を省略する。

【0250】次に本実施形態の装置の作動の詳細を説明する。

【0251】ここで、まず、制御ユニット7が行う処理の制御サイクルについて説明しておく。前記エンジン1の空燃比の制御は、該エンジン1の回転数に同期させる必要があり、このため、本実施形態では、機関側制御ユニット7bによる処理は、エンジン1のクランク角周期(所謂TDC)に同期した制御サイクルで行うようにしている。また、この場合、LAFセンサ5やO₂センサ6等の各種センサの出力データの読込もクランク角周期(所謂TDC)に同期した制御サイクルで行うようにしている。

【0252】一方、前記排気側制御ユニット7aにおける目標空燃比KCMDの決定処理は、触媒装置3に存する無駄時間や演算負荷等を考慮すると一定周期の制御サイクルで行うことが好ましい。このため、本実施形態では、排気側制御ユニット7aにおける処理は一定周期(例えば30~100ms)の制御サイクルで行うようにしている。

【0253】尚、この一定周期は、制御対象である触媒装置3の種類や反応速度、容積等に応じて決定すればよい。また、本実施形態では、上記一定周期の時間間隔は前記クランク角周期(TDC)の時間間隔よりも大きく設定されている。

【0254】以上のことを前提として、まず、図7及び図8のフローチャートを参照して、前記機関側制御ユニット7bによるエンジン1の空燃比の制御のためのエンジン1の各気筒毎の出力燃料噴射量 nT_{out} ($n=1,2,3,4$)の算出処理について説明する。機関側制御ユニット7bは、各気筒毎の出力燃料噴射量 nT_{out} の算出処理をエンジン1のクランク角周期と同期した制御サイクルで次のように行う。

【0255】まず、図7を参照して、機関側制御ユニット7bは前記LAFセンサ5及びO₂センサ6を含む各種センサの出力を読み込む(STEP a)。この場合、LAFセンサ5の出力KACT及びO₂センサ6の出力VO₂/OUTはそれぞれ過去に得られたものを含めて時系列的に図示しないメモリに記憶保持される。

【0256】次いで、基本燃料噴射量算出部8によって、前述の如くエンジン1の回転数NE及び吸気圧PBに対応する燃料噴射量をスロットル弁の有効開口面積に応じて補正してなる基本燃料噴射量 T_{im} が求められ(STEP b)、さらに、第1補正係数算出部9によって、エンジン1の冷却水温やキャニスタのバージ量等に応じた第1補正係数KTOTALが算出される(STEP c)。

【0257】次いで、機関側制御ユニット7bは、空燃比操作量決定部13で生成される目標空燃比KCMDを使用

するか否か（ここでは、空燃比操作量決定部13のON/OFFという）の判別処理を行って、空燃比操作量決定部13のON/OFFを規定するフラグf/prism/onの値を設定する（STEP d）。尚、フラグf/prism/onの値は、それが「0」のとき、空燃比操作量決定部13で生成される目標空燃比KCMDを使用しないこと（OFF）を意味し、「1」のとき、空燃比操作量決定部13で生成される目標空燃比KCMDを使用すること（ON）を意味する。

【0258】上記の判別処理では、図8に示すように、O₂ センサ6及びLAFセンサ5が活性化しているか否かの判別（STEP d-1, d-2）が行われ、いずれかが活性化していない場合には、空燃比操作量決定部13の処理に使用するO₂ センサ6及びLAFセンサ5の検出データを精度よく得ることができないため、フラグf/prism/onの値を「0」にセットする（STEP d-10）。

【0259】また、エンジン1のリーン運転中（希薄燃焼運転）であるか否か（STEP d-3）、エンジン1の始動直後の触媒装置3の早期活性化を図るためにエンジン1の点火時期が遅角側に制御されているか否か（STEP d-4）、エンジン1のスロットル弁が全開であるか否か（STEP d-5）、及びエンジン1への燃料供給の停止中であるか否か（STEP d-6）の判別が行われ、これらのいずれかの条件が成立している場合には、空燃比操作量決定部13で生成される目標空燃比KCMDを使用してエンジン1の燃料供給を制御することは好ましくないため、フラグf/prism/onの値を「0」にセットする（STEP d-10）。

【0260】さらに、エンジン1の回転数NE及び吸気圧PBがそれぞれ所定範囲内にあるか否かの判別が行われ（STEP d-7, d-8）、いずれかが所定範囲内にはない場合には、空燃比操作量決定部13で生成される目標空燃比KCMDを使用してエンジン1の燃料供給を制御することは好ましくないため、フラグf/prism/onの値を「0」にセットする（STEP d-10）。

【0261】そして、STEP d-1, d-2, d-7, d-8の条件が満たされ、且つ、STEP d-3, d-4, d-5, d-6の条件が成立していない場合に、空燃比操作量決定部13で生成される目標空燃比KCMDをエンジン1の燃料供給の制御に使用すべく、フラグf/prism/onの値を「1」にセットする（STEP d-9）。

【0262】図7に戻って、上記のようにフラグf/prism/onの値を設定した後、機関側制御ユニット7bは、フラグf/prism/onの値を判断し（STEP e）、f/prism/on=1である場合には、空燃比操作量決定部13で生成された最新の目標空燃比KCMDを読み込む（STEP f）。また、f/prism/on=0である場合には、目標空燃比KCMDを所定値に設定する（STEP g）。この場合、

目標空燃比KCMDとして設定する所定値は、例えばエンジン1の回転数NEや吸気圧PBからあらかじめ定めたマップ等を用いて決定する。

【0263】次いで、機関側制御ユニット7bは、前記局所的フィードバック制御部16において、前述の如くオブザーバ21によりLAFセンサ5の出力KACTから推定した各気筒毎の実空燃比 $\#nA/F$ に基づき、PID制御器22により、各気筒毎のばらつきを解消するようにフィードバック補正係数 $\#nKLA/F$ を算出し（STEP h）、さらに、大局的フィードバック制御部15により、フィードバック補正係数KFBを算出する（STEP i）。

【0264】この場合、大局的フィードバック制御部15は、前述の如く、PID制御器17により求められるフィードバック操作量KLA/Fと、適応制御器18により求められるフィードバック操作量KSTRを目標空燃比KCMDで除算してなるフィードバック操作量kstrとから、切換部20によってエンジン1の運転状態等に応じていずれか一方のフィードバック操作量KLA/F又はkstrを選択し（通常的には適応制御器18側のフィードバック操作量kstrを選択する）、それを燃料噴射量を補正するためのフィードバック補正量数KFBとして出力する。

【0265】尚、フィードバック補正係数KFBを、PID制御器17側のフィードバック操作量KLA/Fから適応制御器18側のフィードバック操作量kstrに切り換える際には、該補正係数KFBの急変を回避するために、適応制御器18は、その切り換えの際の制御サイクルに限り、補正係数KFBを前回の補正係数KFB（=KLA/F）に保持するように、フィードバック操作量KSTRを求める。同様に、補正係数KFBを、適応制御器18側のフィードバック操作量kstrからPID制御器17側のフィードバック操作量KLA/Fに切り換える際には、PID制御器17は、自身が前回の制御サイクルで求めたフィードバック操作量KLA/Fが、前回の補正係数KFB（=kstr）であったものとして、今回の補正係数KLA/Fを算出する。

【0266】上記のようにしてフィードバック補正係数KFBが算出された後、さらに、前記STEP fあるいはSTEP gで決定された目標空燃比KCMDに依じた第2補正係数KCMDMが第2補正係数算出部10により算出される（STEP j）。

【0267】次いで、制御ユニット7は、前述のように求められた基本燃料噴射量 T_{im} に、第1補正係数KTOTAL、第2補正係数KCMDM、フィードバック補正係数KFB、及び各気筒毎のフィードバック補正係数 $\#nKLA/F$ を乗算することで、各気筒毎の出力燃料噴射量 $\#nT_{out}$ を求める（STEP k）。そして、この各気筒毎の出力燃料噴射量 $\#nT_{out}$ が、付着補正部23によって、エンジン1の吸気管の壁面付着を考慮した補正を施された後（STEP m）、エンジン1の図示しない燃料噴射装置に出力される（STEP n）。

【0268】そして、エンジン1にあっては、各気筒毎

の出力燃料噴射量 $\#nT_{out}$ に従って、各気筒への燃料噴射が行われる。

【0269】以上のような各気筒毎の出力燃料噴射量 $\#nT_{out}$ の算出及びそれに応じたエンジン1への燃料噴射がエンジン1のクランク角周期に同期したサイクルタイムで逐次行われ、これによりLAFセンサ5の出力KACT（空燃比の検出値）が、目標空燃比KCMDに収束するように、エンジン1の空燃比が制御される。この場合、特に、フィードバック補正係数KFBとして、適応制御器18側のフィードバック操作量kstrを使用している状態では、エンジン1の運転状態の変化や特性変化等の挙動変化に対して、高い安定性を有して、LAFセンサ5の出力KACTが迅速に目標空燃比KCMDに収束制御される。また、エンジン1が有する応答遅れの影響も適正に補償される。

【0270】一方、前述のようなエンジン1の制御と並行して、前記空燃比操作量決定部13は、一定周期の制御サイクルで図9のフローチャートに示すメインルーチン処理を行う。

【0271】すなわち、図9のフローチャートを参照して、空燃比操作量決定部13は、まず、自身の演算処理（前記同定器25、推定器26及びスライディングモード制御器27の演算処理）を実行するか否かの判別処理を行って、その実行の可否を規定するフラグf/prism/calの値を設定する（STEP1）。尚、フラグf/prism/calの値は、それが「0」のとき、空燃比操作量決定部13における演算処理を行わないことを意味し、「1」のとき、空燃比操作量決定部13における演算処理を行うことを意味する。

【0272】上記の判別処理は、図10のフローチャートに示すように行われる。

【0273】すなわち、前記図7のSTEPdの場合と同様に、 O_2 センサ6及びLAFセンサ5が活性化しているか否かの判別が行われ（STEP1-1、1-2）、いずれかが活性化していない場合には、空燃比操作量決定部13の演算処理に使用する O_2 センサ6及びLAFセンサ5の検出データを精度よく得ることができないため、フラグf/prism/calの値を「0」にセットする（STEP1-6）。さらにこのとき、同定器25の後述する初期化を行うために、その初期化を行うか否かを規定するフラグf/id/resetの値を「1」にセットする（STEP1-7）。ここで、フラグf/id/resetの値は、それが「1」であるとき、初期化を行うことを意味し、「0」であるとき、初期化を行わないことを意味する。

【0274】また、エンジン1のリーン運転中（希薄燃焼運転）であるか否か（STEP1-3）、及びエンジン1の始動直後の触媒装置3の早期活性化を図るためにエンジン1の点火時期が遅角側に制御されているか否か（STEP1-4）の判別が行われる。これらのいずれ

かの条件が成立している場合には、 O_2 センサ6の出力 $VO2/OUT$ を目標値 $VO2/TARGET$ に整定させるような目標空燃比KCMDを算出しても、それがエンジン1の燃料制御に使用されることはないので、フラグf/prism/calの値を「0」にセットし（STEP1-6）、さらに同定器25の初期化を行うために、フラグf/id/resetの値を「1」にセットする（STEP1-7）。

【0275】図9に戻って、上記のような判別処理を行った後、空燃比操作量決定部13は、さらに、同定器25による前記ゲイン係数 $a1, a2, b1$ の同定（更新）処理を実行するか否かの判別処理を行って、その実行の可否を規定するフラグf/id/calの値を設定する（STEP2）。尚、フラグf/id/calの値は、それが「0」のとき、同定器25による前記ゲイン係数 $a1, a2, b1$ の同定（更新）処理を行わないことを意味し、「1」のとき、同定（更新）処理を行うことを意味する。

【0276】このSTEP2の判別処理は、図11のフローチャートに示すように行われる。

【0277】すなわち、エンジン1のスロットル弁が全開であるか否か（STEP2-1）、及びエンジン1への燃料供給の停止中であるか否か（STEP2-2）の判別が行われる。これらのいずれかの条件が成立している場合には、前記ゲイン係数 $a1, a2, b1$ を適正に同定することが困難であるため、フラグf/id/calの値を「0」にセットする（STEP2-4）。そして、STEP2-1～2-3のいずれの条件も成立していない場合には、同定器25による前記ゲイン係数 $a1, a2, b1$ の同定（更新）処理を実行すべくフラグf/id/calの値を「1」にセットする（STEP2-3）。

【0278】図9に戻って、空燃比操作量決定部13は、次に、前記減算処理部11、12からそれぞれ最新の前記偏差出力 $kact(k)$ （ $=KACT - FLAF/BASE$ ）及び $VO2(k)$ （ $=VO2/OUT - VO2/TARGET$ ）を取得する（STEP3）。この場合、減算処理部11、12は、前記図7のSTEPaにおいて取り込まれて図示しないメモリに記憶されたLAFセンサ5の出力KACT及び O_2 センサ6の出力 $VO2/OUT$ の時系列データの中から、最新のものを選択して前記偏差出力 $kact(k)$ 及び $VO2(k)$ を算出し、それを空燃比操作量決定部13に与える。そして、該空燃比操作量決定部13に与えられた偏差出力 $kact(k)$ 及び $VO2(k)$ は、該空燃比操作量決定部13内において、過去に与えられたものを含めて時系列的に図示しないメモリに記憶保持される。

【0279】次いで、空燃比操作量決定部13は、前記STEP1で設定されたフラグf/prism/calの値を判断し（STEP4）、f/prism/cal=0である場合、すなわち、空燃比操作量決定部13の演算処理を行わない場合には、スライディングモード制御器27で求めるべき前記対象排気系EへのSLD操作入力 $us1$ （目標偏差空燃比kcmd）を強制的に所定値に設定する（STEP1

2)。この場合、該所定値は、例えばあらかじめ定めた固定値（例えば「0」）あるいは前回の制御サイクルで決定したSLD操作入力 usl の値とする。尚、このようにSLD操作入力 usl を所定値とした場合において、空燃比操作量決定部13は、その所定値のSLD操作入力 usl に前記基準値FLAF/BASEを加算することで、今回の制御サイクルにおける目標空燃比 $KCMD$ を決定し（STEP13）、今回の制御サイクルの処理を終了する。

【0280】一方、STEP4の判断で、 $f/prism/cal=1$ である場合、すなわち、空燃比操作量決定部13の演算処理を行う場合には、空燃比操作量決定部13は、まず、前記同定器25による演算処理を行う（STEP5）。

【0281】この同定器25による演算処理は図12のフローチャートに示すように行われる。

【0282】すなわち、同定器25は、まず、前記STEP2で設定されたフラグ $f/id/cal$ の値を判断する（STEP5-1）。このとき $f/id/cal=0$ であれば、前述の通り同定器25によるゲイン係数 $a1, a2, b1$ の同定処理を行わないので、直ちに図9のメインルーチンに復帰する。

【0283】一方、 $f/id/cal=1$ であれば、同定器25は、さらに該同定器25の初期化に係わる前記フラグ $f/id/reset$ の値（これは、前記STEP1でその値が設定される）を判断し（STEP5-2）、 $f/id/reset=1$ である場合には、同定器25の初期化を行う（STEP5-3）。この初期化では、前記同定ゲイン係数 $a1$ ハット、 $a2$ ハット、 $b1$ ハットの各値があらかじめ定めた初期値に設定され（式（4）の同定ゲイン係数ベクトル θ の初期化）、また、前記式（9）の行列 P （対角行列）の各成分があらかじめ定めた初期値に設定される。さらに、フラグ $f/id/reset$ の値は「0」にリセットされる。

【0284】次いで、同定器25は、現在の同定ゲイン係数 $a1(k-1)$ ハット、 $a2(k-1)$ ハット、 $b1(k-1)$ ハットを用いて表される対象排気系Eの離散系モデル（前記式（3）参照）における O_2 センサ6の前記同定偏差出力 $V02(k)$ ハットを、前記STEP3で制御サイクル毎に取得される偏差出力 $V02$ 及び $kact$ の過去のデータ $V02(k-1)$ 、 $V02(k-2)$ 、 $kact(k-d-1)$ と、上記同定ゲイン係数 $a1(k-1)$ ハット、 $a2(k-1)$ ハット、 $b1(k-1)$ ハットとを用いて前記式（3）あるいはこれと等価の前記式（6）により算出する（STEP5-4）。

【0285】さらに同定器25は、新たな同定ゲイン係数 $a1$ ハット、 $a2$ ハット、 $b1$ ハットを決定する際に使用する前記ベクトル $K\theta(k)$ を式（9）により算出した後（STEP5-5）、前記同定誤差 id/e （離散系モデル上での O_2 センサの同定偏差出力 $V02$ ハットと、実際の偏差出力 $V02$ との偏差。式（7）参照）を算出する（STEP5-6）。

【0286】ここで、STEP5-6で求める同定誤差

id/e は、基本的には、前記式（7）の演算により算出すればよいのであるが、本実施形態では、例えば図13のブロック図で示すように前記STEP3（図9参照）で制御サイクル毎に取得する偏差出力 $V02$ と、前記STEP5-4で制御サイクル毎に算出する同定偏差出力 $V02$ ハットとから式（7）の演算により得られた値（ $=V02-V02$ ハット）に、さらにローパス特性のフィルタリングを施すことで同定誤差 id/e を求める。

【0287】これは、触媒装置3を含む対象排気系Eは一般にローパス特性を有するため、該対象排気系Eの離散系モデルのゲイン係数 $a1, a2, b1$ を適正に同定する上では、対象排気系Eの低周波数側の挙動を重視することが好ましいからである。

【0288】尚、このようなフィルタリングは、結果的に、偏差出力 $V02$ 及び同定偏差出力 $V02$ ハットの両者に同じローパス特性のフィルタリングが施されていればよく、例えば偏差出力 $V02$ 及び同定偏差出力 $V02$ ハットにそれぞれ各別にフィルタリングを施した後に式（7）の演算を行って同定誤差 id/e を求めるようにしてもよい。但し、本実施形態のように式（7）の演算を行った後に、フィルタリングを施して同定誤差 id/e を求めることで、次のような利点も生じる。すなわち、例えば空燃比操作量決定部13に取り込まれるLAFセンサ5の偏差出力 $kact$ や O_2 センサ6の偏差出力 $V02$ の分解能が、空燃比操作量決定部13の演算処理上の分解能よりも低い場合には、式（7）による演算結果の値は比較的顕著なステップ的な変化を呈するものとなるが、それにフィルタリングを施すことによって、同定誤差 id/e の変化を滑らかなものとすることができる。

【0289】また、前記のフィルタリングは、例えばデジタルフィルタの一手法である移動平均処理によって行われる。

【0290】上記のようにして同定誤差 id/e を求めた後、同定器25は、該同定誤差 id/e と、前記STEP5-5で算出された $K\theta$ とを用いて前記式（8）により新たな同定ゲイン係数ベクトル $\theta(k)$ 、すなわち、新たな同定ゲイン係数 $a1(k)$ ハット、 $a2(k)$ ハット、 $b1(k)$ ハットを算出する（STEP5-7）。

【0291】さらに同定器25は、以下に説明する如く、同定ゲイン係数 $a1$ ハット、 $a2$ ハット、 $b1$ ハット（同定ゲイン係数ベクトル θ の要素）の値を、所定の条件を満たすように制限する処理を行う（STEP5-8）。

【0292】この場合、同定ゲイン係数 $a1$ ハット、 $a2$ ハット、 $b1$ ハットの値を制限するための前記所定の条件は、前記式（1）で表した対象排気系Eの離散系モデルの応答遅れ要素（より詳しくは式（1）右辺の1次目の自己帰項及び2次目の自己帰項）に係わる同定ゲイン係数 $a1$ ハット、 $a2$ ハットの値の組み合わせを所定の組み合わせに制限するための条件（以下、第1制限条件という）と、上記離散系モデルの無駄時間要素に係わる同

定ゲイン係数 $b1$ ハットの値を制限するための条件（以下、第2制限条件という）とがある。

【0293】ここで、これらの第1及び第2制限条件、並びにSTEP5-8の具体的な処理内容を説明する前に、同定ゲイン係数 $a1$ ハット、 $a2$ ハット、 $b1$ ハットの値を制限する理由を説明しておく。

【0294】本願発明者等の知見によれば、本実施形態の装置において、同定ゲイン係数 $a1$ ハット、 $a2$ ハット、 $b1$ ハットの値を特に制限しない場合には、 O_2 センサ6の出力 $V02/OUT$ がその目標値 $V02/TARGET$ に安定して制御されている状態で、スライディングモード制御器27により求められる目標空燃比 $KCMD$ が平滑的な時間変化を呈する状況と、高周波振動的な時間変化を呈する状況との二種類の状況が生じることが判明した。この場合、いずれの状況においても、 O_2 センサ6の出力 $V02/OUT$ をその目標値 $V02/TARGET$ に制御する上では支障がないものの、目標空燃比 $KCMD$ が高周波振動的な時間変化を呈する状況は、該目標空燃比 $KCMD$ に基づいて制御されるエンジン1の円滑な運転を行う上では、あまり好ましくない。

【0295】そして、上記の現象について本願発明者等が検討したところ、スライディングモード制御器27が求める目標空燃比 $KCMD$ が平滑的なものとなるか高周波振動的なものとなるかは、同定器25により同定するゲイン係数 $a1$ 、 $a2$ の値の組み合わせや、ゲイン係数 $b1$ の値の影響を受けることが判明した。

【0296】このために、本実施形態では、前記第1制限条件と第2制限条件とを適切に設定し、これらの条件により、同定ゲイン係数 $a1$ ハット、 $a2$ ハットの値の組み合わせや、同定ゲイン係数 $b1$ ハットの値を適切に制限することで、目標空燃比 $KCMD$ が高周波振動的なものとなるような状況を排除する。

【0297】この場合、本実施形態では前記第1制限条件及び第2制限条件は次のように設定する。

【0298】まず、同定ゲイン係数 $a1$ ハット、 $a2$ ハットの値の組み合わせを制限するための第1制限条件に関し、本願発明者等の検討によれば、目標空燃比 $KCMD$ が平滑的なものとなるか高周波振動的なものとなるかは、ゲイン係数 $a1$ 、 $a2$ の値により定まる前記式(15)～(1*

$$\sqrt{V02(k+d)} = a1 \cdot \sqrt{V02(k)} + a2 \cdot \sqrt{V02(k-1)} + \sum_{j=1}^d \beta_j \cdot kcmd(k-j) \quad (45)$$

【0303】すなわち、式(45)により表される系が安定となる条件は、その系の極（これは、次式(46)により与えられる）が複素平面上の単位円内に存在する※

$$\text{式51の系の極} = \frac{a1 \pm \sqrt{a1^2 + 4 \cdot a2}}{2} \quad (46)$$

【0305】そして、図14の三角形領域 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 は、上記の条件を満たす係数値 $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ の組み合わせを規定する領域である。従って、前記推定係数安定領域は、前記式(45)により表される系が安定となるよう

*8)の係数値 $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ 、すなわち、前記推定器26が前記推定偏差出力 $V02(k+d)$ バーを求めるために使用する前記係数値 $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ （これらの係数値 $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ は前記式(13)で定義した行列 A の巾乗 A^d の第1行第1列成分及び第1行第2列成分である）の組み合わせが密接に関連している。

【0299】具体的には、図14に示すように係数値 $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ をそれぞれ成分とする座標平面を設定したとき、係数値 $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ の組により定まる該座標平面上の点が図14の斜線を付した領域（三角形 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 で囲まれた領域（境界を含む））。以下、この領域を推定係数安定領域という）に存するとき、目標空燃比 $KCMD$ の時間的変化が平滑的なものとなりやすい。逆に、係数値 $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ の組により定まる点が上記の推定係数安定領域を逸脱しているような場合には、目標空燃比 $KCMD$ の時間的変化が高周波振動的なものとなったり、あるいは、 O_2 センサ6の出力 $V02/OUT$ の目標値 $V02/TARGET$ への制御性が悪化しやすい。

【0300】従って、同定器25により同定するゲイン係数 $a1$ 、 $a2$ の値、すなわち同定ゲイン係数 $a1$ ハット、 $a2$ ハットの値の組み合わせは、これらの値により定まる係数値 $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ の組に対応する図14の座標平面上の点が上記推定係数安定領域内に存するように制限することが好ましい。

【0301】尚、図14において、上記推定係数安定領域を含んで座標平面上に表した三角形領域 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 は、次式(45)により定義される系、すなわち、前記式(11)の右辺の $V02(k)$ 及び $V02(k-1)$ をそれぞれ $V02(k)$ バー及び $V02(k-1)$ バー（これらの $V02(k)$ バー及び $V02(k-1)$ バーは、それぞれ、推定器26により制御サイクル毎に求められる推定偏差出力及びその1制御サイクル前に求められる推定偏差出力を意味する）により置き換えてなる式により定義される系が、理論上、安定となるような係数値 $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ の組み合わせを規定する領域である。

【0302】

【数45】

※ことである。

【0304】

【数46】

な係数値 $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ の組み合わせのうち、 $\alpha 1 \geq 0$ となる組み合わせとなる領域である。

【0306】一方、係数値 $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ は、ゲイン係数 $a1$ 、 $a2$ の値の組み合わせにより定まるので、逆算的

に、係数値 α_1 、 α_2 の組み合わせからゲイン係数 a_1 、 a_2 の値の組み合わせも定まる。従って、係数値 α_1 、 α_2 の好ましい組み合わせを規定する図 14 の推定係数安定領域は、ゲイン係数 a_1 、 a_2 を座標成分とする図 15 の座標平面上に変換することができる。この変換を行うと、該推定係数安定領域は、図 15 の座標平面上では、例えば図 15 の仮想線で囲まれた領域（下部に凹凸を有する大略三角形形状の領域。以下、同定係数安定領域という）に変換される。すなわち、ゲイン係数 a_1 、 a_2 の値の組により定まる図 15 の座標平面上の点が、同図の仮想線で囲まれた同定係数安定領域に存するとき、それらのゲイン係数 a_1 、 a_2 の値により定まる係数値 α_1 、 α_2 の組に対応する図 14 の座標平面上の点が前記推定係数安定領域内に存することとなる。

【0307】従って、同定器 25 により求める同定ゲイン係数 a_1 ハット、 a_2 ハットの値を制限するための前記第 1 制限条件は、基本的には、それらの値により定まる図 15 の座標平面上の点が前記同定係数安定領域に存することとして設定することが好ましい。

【0308】但し、図 15 に仮想線で示した同定係数安定領域の境界の一部（図の下部）は凹凸を有する複雑な形状を呈しているため、実用上、同定ゲイン係数 a_1 ハット、 a_2 ハットの値により定まる図 15 の座標平面上の点を同定係数安定領域内に制限するための処理が煩雑なものとなりやすい。

【0309】そこで、本実施形態では、同定係数安定領域を、例えば図 15 の実線で囲まれた四角形 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 、 Q_4 の領域（境界を直線状に形成した領域。以下、同定係数制限領域という）により大略近似する。この場合、この同定係数制限領域は、図示の如く、 $|a_1| + a_2 = 1$ なる関数式により表される折れ線（線分 Q_1 、 Q_2 、及び線分 Q_3 、 Q_4 を含む線）と、 $a_1 = A_{1L}$ （ A_{1L} ：定数）なる定値関数式により表される直線（線分 Q_1 、 Q_2 を含む直線）と、 $a_2 = A_{2L}$ （ A_{2L} ：定数）なる定値関数式により表される直線（線分 Q_3 、 Q_4 を含む直線）とにより囲まれた領域である。そして、同定ゲイン係数 a_1 ハット、 a_2 ハットの値を制限するための前記第 1 制限条件を、それらの値により定まる図 15 の座標平面上の点が上記同定係数制限領域に存することとして設定する。この場合、同定係数制限領域の下辺部の一部は、前記同定係数安定領域を逸脱しているものの、現実には同定器 25 が求める同定ゲイン係数 a_1 ハット、 a_2 ハットの値により定まる点は上記の逸脱領域には入らないことを実験的に確認している。従って、上記の逸脱領域があっても、実用上は支障がない。

【0310】尚、このような同定係数制限領域の設定の仕方は例示的なもので、該同定係数制限領域は、基本的には、前記同定係数安定領域に等しいか、もしくは該同定係数安定領域を大略近似し、あるいは、同定係数制限領域の大部分もしくは全部が同定係数安定領域に属する

ように設定すれば、どのような形状のものに設定してもよい。つまり、同定係数制限領域は、同定ゲイン係数 a_1 ハット、 a_2 ハットの値の制限処理の容易さ、実際上の制御性等を考慮して種々の設定が可能である。例えば本実施形態では、同定係数制限領域の上半部の境界を $|a_1| + a_2 = 1$ なる関数式により規定しているが、この関数式を満たすゲイン係数 a_1 、 a_2 の値の組み合わせは、前記式（46）により与えられる系の極が複素平面上の単位円周上に存するような理論上の安定限界の組み合わせである。従って、同定係数制限領域の上半部の境界を例えば $|a_1| + a_2 = r$ （但し、 r は上記の安定限界に対応する「1」よりも若干小さい値で、例えば 0.99）なる関数式により規定し、制御の安定性をより高めるようにしてもよい。

【0311】また、前記同定係数制限領域の基礎となる図 15 の同定係数安定領域も例示的なものであり、図 14 の推定係数安定領域に対応する同定係数安定領域は、係数値 α_1 、 α_2 の定義から明らかなように（式（14）、（15）を参照）、前記合計無駄時間 d （より正確にはその設定値）の影響も受け、該合計無駄時間 d の値によって、同定係数安定領域の形状が変化する。この場合、同定係数安定領域がどのような形状のものであっても、前記同定係数制限領域は、同定係数安定領域の形状に合わせて前述の如く設定すればよい。

【0312】次に、同定器 25 が同定する前記ゲイン係数 b_1 の値、すなわち同定ゲイン係数 b_1 ハットの値を制限するための前記第 2 制限条件は本実施形態では次のように設定する。

【0313】すなわち、本願発明者等の知見によれば、前記目標空燃比 K_{CMD} の時間的变化が高周波振動的なものとなる状況は、同定ゲイン係数 b_1 ハットの値が過大もしくは過小となるような場合にも生じ易い。そこで、本実施形態では、同定ゲイン係数 b_1 ハットの値の上限値 B_{1H} 及び下限値 B_{1L} （ $B_{1H} > B_{1L} > 0$ ）をあらかじめ実験やシミュレーションを通じて定めておく。そして、前記第 2 制限条件を、同定ゲイン係数 b_1 ハットの値が上限値 B_{1H} 以下で且つ下限値 B_{1L} 以上の値になること（ $B_{1L} \leq b_1 \text{ ハット} \leq B_{1H}$ の不等式を満たすこと）として設定する。

【0314】以上説明した如く設定した第 1 制限条件及び第 2 制限条件により同定ゲイン係数 a_1 ハット、 a_2 ハット、 b_1 ハットの値を制限するための前記 STEP 5-8 の処理は、具体的には次のように行われる。

【0315】すなわち、図 16 のフローチャートを参照して、同定器 25 は、前記図 12 の STEP 5-7 で前述の如く求めた同定ゲイン係数 $a_1(k)$ ハット、 $a_2(k)$ ハット、 $b_1(k)$ ハットについて、まず、同定ゲイン係数 $a_1(k)$ ハット、 $a_2(k)$ ハットの値の組み合わせを前記第 1 制限条件により制限するための処理を STEP 5-8-1~5-8-8 で行う。

【0316】具体的には、同定器25は、まず、STEP 5-7で求めた同定ゲイン係数 $a_2(k)$ ハットの値が、前記同定係数制限領域におけるゲイン係数 a_2 の下限值 A_{2L} （図15参照）以上の値であるか否かを判断する（STEP 5-8-1）。

【0317】このとき、 $a_2(k)$ ハット $<A_{2L}$ であれば、同定ゲイン係数 $a_1(k)$ ハット、 $a_2(k)$ ハットの値の組により定まる図15の座標平面上の点（以下、この点を（ $a_1(k)$ ハット、 $a_2(k)$ ハット）で表す）が同定係数制限領域から逸脱しているため、 $a_2(k)$ ハットの値を強制的に上記下限値 A_{2L} に変更する（STEP 5-8-2）。この処理により、図15の座標平面上の点（ $a_1(k)$ ハット、 $a_2(k)$ ハット）は、少なくとも $a_2=A_{2L}$ により表される直線（線分 Q_1 、 Q_2 を含む直線）の上側（該直線上を含む）の点に制限される。

【0318】次いで、同定器25は、STEP 5-7で求めた同定ゲイン係数 $a_1(k)$ ハットの値が、前記同定係数制限領域におけるゲイン係数 a_1 の下限值 A_{1L} （図15参照）以上の値であるか否か、並びに、同定係数制限領域におけるゲイン係数 a_1 の上限値 A_{1H} （図15参照）以下の値であるか否かを順次判断する（STEP 5-8-3、5-8-5）。尚、同定係数制限領域におけるゲイン係数 a_1 の上限値 A_{1H} は、図15から明らかなように折れ線 $|a_1|+a_2=1$ （但し $a_1>0$ ）と、直線 $a_2=A_{2L}$ との交点 Q_3 の a_1 座標成分であるので、 $A_{1H}=1-A_{2L}$ である。

【0319】このとき、 $a_1(k)$ ハット $<A_{1L}$ である場合、あるいは、 $a_1(k)$ ハット $>A_{1H}$ である場合には、図15の座標平面上の点（ $a_1(k)$ ハット、 $a_2(k)$ ハット）が同定係数制限領域から逸脱しているため、 $a_1(k)$ ハットの値をそれぞれの場合に応じて、強制的に上記下限値 A_{1L} あるいは上限値 A_{1H} に変更する（STEP 5-8-4、5-8-6）。

【0320】この処理により、図15の座標平面上の点（ $a_1(k)$ ハット、 $a_2(k)$ ハット）は、 $a_1=A_{1L}$ により表される直線（線分 Q_1 、 Q_2 を含む直線）と、 $a_1=A_{1H}$ により表される直線（点 Q_3 、 Q_4 を通過して a_1 軸に直行する直線）との間の領域（両直線上を含む）に制限される。

【0321】尚、STEP 5-8-3及び5-8-4の処理と、STEP 5-8-5及び5-8-6の処理とは順番を入れ替えてもよい。また、前記STEP 5-8-1及び5-8-2の処理は、STEP 5-8-3～5-8-6の処理の後に行うようにしてもよい。

【0322】次いで、同定器25は、前記STEP 5-8-1～5-8-6の処理を経た今現在の $a_1(k)$ ハット、 $a_2(k)$ ハットの値が $|a_1|+a_2\leq 1$ なる不等式を満たすか否か、すなわち、点（ $a_1(k)$ ハット、 $a_2(k)$ ハット）が $|a_1|+a_2=1$ なる関数式により表される折れ線（線分 Q_1 、 Q_2 及び線分 Q_3 、 Q_4 を含む線）の下側（折れ線上を含む）にあるか上側にあるかを判断する（STEP 5-8-7）。

EP 5-8-7）。

【0323】このとき、 $|a_1|+a_2\leq 1$ なる不等式が成立しておれば、前記STEP 5-8-1～5-8-6の処理を経た $a_1(k)$ ハット、 $a_2(k)$ ハットの値により定まる点（ $a_1(k)$ ハット、 $a_2(k)$ ハット）は、同定係数制限領域（その境界を含む）に存している。

【0324】一方、 $|a_1|+a_2>1$ である場合は、点（ $a_1(k)$ ハット、 $a_2(k)$ ハット）が、同定係数制限領域からその上方側に逸脱している場合であり、この場合には、 $a_2(k)$ ハットの値を強制的に、 $a_1(k)$ ハットの値に応じた値（ $1-|a_1(k)|$ ハット）に変更する（STEP 5-8-8）。換言すれば、 $a_1(k)$ ハットの値を現状に保持したまま、点（ $a_1(k)$ ハット、 $a_2(k)$ ハット）を $|a_1|+a_2=1$ なる関数式により表される折れ線上（同定係数制限領域の境界である線分 Q_1 、 Q_2 上、もしくは線分 Q_3 、 Q_4 上）に移動させる。

【0325】以上のようなSTEP 5-8-1～5-8-8の処理によって、同定ゲイン係数 $a_1(k)$ ハット、 $a_2(k)$ ハットの値は、それらの値により定まる点（ $a_1(k)$ ハット、 $a_2(k)$ ハット）が同定係数制限領域内に存するように制限される。尚、前記STEP 5-7で求められた同定ゲイン係数 $a_1(k)$ ハット、 $a_2(k)$ ハットの値に対応する点（ $a_1(k)$ ハット、 $a_2(k)$ ハット）が同定係数制限領域内に存する場合は、それらの値は保持される。

【0326】この場合、前述の処理によって、前記対象排気系Eの離散系モデルの1次目の自己回帰項に係わる同定ゲイン係数 $a_1(k)$ ハットに関しては、その値が、同定係数制限領域における下限値 A_{1L} 及び上限値 A_{1H} の間の値となっている限り、その値が強制的に変更されることはない。また、 $a_1(k)$ ハット $<A_{1L}$ である場合、あるいは、 $a_1(k)$ ハット $>A_{1H}$ である場合には、それぞれ、同定ゲイン係数 $a_1(k)$ ハットの値は、同定係数制限領域においてゲイン係数 a_1 が採りうる最小値である下限値 A_{1L} と、同定係数制限領域においてゲイン係数 a_1 が採りうる最大値である下限値 A_{1H} とに強制的に変更されるので、これらの場合における同定ゲイン係数 $a_1(k)$ ハットの値の変更量は最小なものとなる。つまり、STEP 5-7で求められた同定ゲイン係数 $a_1(k)$ ハット、 $a_2(k)$ ハットの値に対応する点（ $a_1(k)$ ハット、 $a_2(k)$ ハット）が同定係数制限領域から逸脱している場合には、同定ゲイン係数 $a_1(k)$ ハットの値の強制的な変更は最小限に留められる。

【0327】このようにして、同定ゲイン係数 $a_1(k)$ ハット、 $a_2(k)$ ハットの値を制限したのち、同定器25は、同定ゲイン係数 $b_1(k)$ ハットの値を前記第2制限条件に従って制限する処理をSTEP 5-8-9～5-8-12で行う。

【0328】すなわち、同定器25は、前記STEP 5-7で求めた同定ゲイン係数 $b_1(k)$ ハットの値が、前記下限値 B_{1L} 以上であるか否かを判断し（STEP 5-8

−9)、 $B1L > b1(k)$ ハットである場合には、 $b1(k)$ ハットの値を強制的に上記下限値 $B1L$ に変更する(STEP 5-8-10)。

【0329】さらに、同定器25は、同定ゲイン係数 $b1(k)$ ハットの値が、前記上限値 $B1H$ 以上であるか否かを判断し(STEP 5-8-11)、 $B1H < b1(k)$ ハットである場合には、 $b1(k)$ ハットの値を強制的に上記上限値 $B1H$ に変更する(STEP 5-8-12)。

【0330】このようなSTEP 5-8-9~5-8-12の処理によって、同定ゲイン係数 $b1(k)$ ハットの値は、下限値 $B1L$ 及び上限値 $B1H$ の間の範囲の値に制限される。

【0331】このようにして、同定ゲイン係数 $a1(k)$ ハット、 $a2(k)$ ハットの値の組み合わせと同定ゲイン係数 $b1(k)$ ハットの値とを制限した後は、同定器25の処理は図12のフローチャートの処理に復帰する。

【0332】尚、図12のSTEP 5-7で同定ゲイン係数 $a1(k)$ ハット、 $a2(k)$ ハット、 $b1(k)$ ハットを求めるために使用する同定ゲイン係数の前回値 $a1(k-1)$ ハット、 $a2(k-1)$ ハット、 $b1(k-1)$ ハットは、前回の制御サイクルにおけるSTEP 5-8の処理で前述の如く第1及び第2制限条件により制限を行った同定ゲイン係数の値である。

【0333】図12の説明に戻って、前述のように同定ゲイン係数 $a1(k)$ ハット、 $a2(k)$ ハット、 $b1(k)$ ハットの制限処理を行った後、同定器25は、次回の制御サイクルの処理のために前記行列 $P(k)$ を前記式(10)により更新し(STEP 5-9)、図9のメインルーチンの処理に復帰する。

【0334】以上が図9のSTEP 5における同定器25の演算処理である。

【0335】図9のメインルーチン処理の説明に戻って、前述の通り同定器25の演算処理が行われた後、空燃比操作量決定部13はゲイン係数 $a1, a2, b1$ の値を決定する(STEP 6)。この処理では、図17のフローチャートに示すように、前記STEP 2で設定されたフラグ $f/id/cal$ の値が判断され(STEP 6-1)、 $f/id/cal = 1$ である場合、すなわち、同定器25によるゲイン係数 $a1, a2, b1$ の同定処理を行った場合には、ゲイン係数 $a1, a2, b1$ の値として、それぞれ前記STEP 5-10(図11参照)で前述の通り同定器25により求められた同定ゲイン係数 $a1$ ハット、 $a2$ ハット、 $b1$ ハットにそれぞれ所定のスケーリング係数 $q1, q2, q3$ によりスケーリングを施したものを設定する(STEP 6-2)。尚、本実施形態ではスケーリング係数 $q1, q2, q3$ の値は、いずれも「1」としており、同定ゲイン係数 $a1$ ハット、 $a2$ ハット、 $b1$ ハットの値がそのままゲイン係数 $a1, a2, b1$ の値となる。

【0336】また、 $f/id/cal = 0$ である場合、すなわち、同定器25によるゲイン係数 $a1, a2, b1$ の同定処理を

行わなかった場合には、ゲイン係数 $a1, a2, b1$ の値をそれぞれあらかじめ定めた所定値とする(STEP 6-3)。

【0337】次いで、空燃比操作量決定部13は、図9のメインルーチンにおいて、前記推定器26による演算処理(推定偏差出力 $V02$ パーの算出処理)を行う(STEP 7)。

【0338】この推定器26の演算処理は図18のフローチャートに示すように行われる。すなわち、推定器26は、前記STEP 6で決定されたゲイン係数 $a1, a2, b1$ (これらの値は基本的には、前記図12のSTEP 5-8の制限処理を経た同定ゲイン係数 $a1$ ハット、 $a2$ ハット、 $b1$ ハットである)を用いて、前記式(16)で使用する係数値 $\alpha 1, \alpha 2, \beta j$ ($j = 1 \sim d$)を前述したように算出する(STEP 7-1)。ここで、係数値 $\alpha 1, \alpha 2$ は、行列 A^d の第1行第1列成分、第1行第2列成分であり、 βj ($j = 1 \sim d$)はベクトル $A^{j-1} \cdot B$ の第1行成分である(式(13)、(14)を参照)。

【0339】次いで、推定器26は、前記図9のSTEP 3で制御サイクル毎に取得される O 、センサの偏差出力 $V02$ の現在の制御サイクル以前の時系列データ $V02(k), V02(k-1)$ 、並びにLAFセンサ5の偏差出力 $kact$ の現在の制御サイクル以前の時系列データ $kact(k-j)$ ($j = 0 \sim d1$)と、スライディングモード制御器27から制御サイクル毎に与えられる前記目標偏差空燃比 $kcmd$ (=SLD操作入力 $us1$)の前の制御サイクル以前の時系列データ $kcmd(k-j)$ (= $us1(k-j)$)、 $j = 1 \sim d2-1$)と、STEP 7-1で算出した係数 $\alpha 1, \alpha 2, \beta j$ を用いて前記式(16)により(本実施形態では式(17)により)、推定偏差出力 $V02(k+d)$ パー(今回の制御サイクルの時点から前記合計無駄時間 d 後の偏差出力 $V02$ の推定値)を算出する(STEP 7-2)。

【0340】図9の説明に戻って、空燃比操作量決定部13は、次に、スライディングモード制御器27によって、前記SLD操作入力 $us1$ (=目標偏差空燃比 $kcmd$)を算出する(STEP 8)。

【0341】このSLD操作入力 $us1$ の算出は、図19のフローチャートに示すように行われる。

【0342】すなわち、スライディングモード制御器27は、まず、前記STEP 8で推定器26により求められた推定偏差出力 $V02$ パーの時系列データ $V02(k+d)$ パー、 $V02(k+d-1)$ パーを用いて、前記式(30)により定義された線形関数 σ パーの今回の制御サイクルから前記合計無駄時間 d 後の値 $\sigma(k+d)$ パー(これは、式(19)で定義された線形関数 σ の合計無駄時間 d 後の推定値に相当する)を算出する(STEP 8-1)。

【0343】次いで、スライディングモード制御器27は、上記STEP 8-1で制御サイクル毎に算出される $\sigma(k+d)$ パーを累積的に加算していく(前回の制御サイ

クルで求められた加算結果に今回の制御サイクルで算出された $\sigma(k+d)$ を加算すること、 $\sigma(k+d)$ バーの積算値（これは式(32)の右端の項に相当する）を算出する（STEP8-2）。尚、この場合、本実施形態では、 $\sigma(k+d)$ バーの積算値があらかじめ定めた所定範囲内に収まるようにし、 $\sigma(k+d)$ バーの積算値が所定の上限値又は下限値を超えた場合には、それぞれ $\sigma(k+d)$ バーの積算値を該上限値又は下限値に制限するようにしている。これは、 $\sigma(k+d)$ バーの積算値の大きさが過大になると、前記式(32)により求められる適応則入力 u_{adp} が過大となって、制御性が損なわれる虞れがあるからである。

【0344】次いで、スライディングモード制御器27は、前記STEP9で推定器2により求められた推定偏差出力 $V02$ バーの時系列データ $V02(k+d)$ バー、 $V02(k+d-1)$ バーと、STEP8-1及び8-2でそれぞれ求められた線形関数の値 $\sigma(k+d)$ バー及びその積算値と、STEP6で決定したゲイン係数 $a1$ 、 $a2$ 、 $b1$ （これらの値は基本的には、前記図12のSTEP5-8の制限処理を経た同定ゲイン係数 $a1$ ハット、 $a2$ ハット、 $b1$ ハットである）とを用いて、前記式(29)、(31)、(32)に従って、それぞれ等価制御入力 u_{eq} 、到達則入力 u_{rch} 及び適応則入力 u_{adp} を算出する（STEP8-3）。

【0345】さらにスライディングモード制御器27は、STEP8-3で求めた等価制御入力 u_{eq} 、到達則入力 u_{rch} 及び適応則入力 u_{adp} を加算することで、前記SLD操作入力 u_{sl} 、すなわち、 O_2 センサ6の出力 $V02/OUT$ を目標値 $V02/TARGET$ に収束させるために必要な対象排気系Eへの入力（＝目標偏差空燃比 k_{cmd} ）を算出する（STEP8-4）。尚、このようにして制御サイクル毎に求められるSLD操作入力 u_{sl} （＝目標偏差空燃比 k_{cmd} ）は、図示しないメモリに時系列的に記憶保持され、それが、推定器26の前述の演算処理のために使用される。

【0346】図9に戻って、上記のようにSLD操作入力 u_{sl} を算出した後、空燃比操作量決定部13は、スライディングモード制御器27による適応スライディングモード制御の安定性の判別処理を行って、該適応スライディングモード制御が安定であるか否かを示すフラグ $f/sld/stb$ の値を設定する（STEP9）。

【0347】この安定性の判別処理は図20のフローチャートに示すように行われる。

【0348】すなわち、空燃比操作量決定部13は、まず、前記STEP8-1で算出される線形関数 σ バーの今回値 $\sigma(k+d)$ バーと前回値 $\sigma(k+d-1)$ バーとの偏差 $\Delta\sigma$ バー（これは線形関数の σ バーの変化速度に相当する）を算出する（STEP9-1）。

【0349】次いで、空燃比操作量決定部13は、STEP9-1で算出した偏差 $\Delta\sigma$ バーと線形関数 σ バーの

今回値 $\sigma(k+d)$ バーとの積 $\Delta\sigma$ バー $\cdot\sigma(k+d)$ バー（これは σ バーに関するリアプノフ関数 σ バー²/2の時間微分関数に相当する）があらかじめ定めた所定値 $\varepsilon 2$ （ ≥ 0 ）以下であるか否かを判断する（STEP9-2）。

【0350】この場合、 $\Delta\sigma$ バー $\cdot\sigma(k+d)$ バー $>\varepsilon 2$ となる状態は、 σ バー²が増加する側で、前記推定偏差出力 $V02(k+d)$ 、 $V02(k+d-1)$ が前記超平面 $\sigma=0$ から離間する方向へ変移している状態であるので、適応スライディングモード制御が不安定（前記STEP8で算出されるSLD操作入力 u_{sl} が不適切）であると考えられる。このため、STEP9-2の判断で、 $\Delta\sigma$ バー $\cdot\sigma(k+d)$ バー $>\varepsilon 2$ である場合には、適応スライディングモード制御が不安定であるとし、前記STEP8で算出されるSLD操作入力 u_{sl} を用いた目標空燃比 $KCMD$ の決定を所定時間、禁止するためにタイマカウンタ t_m （カウントダウンタイマ）の値を所定の初期値 T_m にセットする（タイマカウンタ t_m の起動。STEP9-4）。そして、前記フラグ $f/sld/stb$ の値を「0」（ $f/sld/stb=0$ は適応スライディングモード制御が不安定であることを示す）に設定する（STEP9-5）。

【0351】尚、STEP9-2の判断で使用する所定値 $\varepsilon 2$ は理論上は「0」でよいが、確率的外乱の影響を考慮すると、「0」よりも若干大きな値とすることが好ましい。

【0352】一方、前記STEP9-2の判断で、 $\Delta\sigma$ バー $\cdot\sigma(k+d)$ バー $\leq \varepsilon 2$ である場合には、空燃比操作量決定部13は、線形関数 σ バーの今回値 $\sigma(k+d)$ バーがあらかじめ定めた所定範囲内にあるか否かを判断する（STEP9-3）。

【0353】この場合、線形関数 σ バーの今回値 $\sigma(k+d)$ バーが、所定範囲内に無い状態は、前記推定偏差出力 $V02(k+d)$ 、 $V02(k+d-1)$ が前記超平面 $\sigma=0$ から大きく離間している状態であるので、適応スライディングモード制御が不安定（前記STEP8で算出されるSLD操作入力 u_{sl} が不適切）であると考えられる。このため、STEP9-2の判断で、線形関数 σ バーの今回値 $\sigma(k+d)$ バーが、所定範囲内に無い場合には、適応スライディングモード制御が不安定であるとして、前述の場合と同様に、STEP9-4及び9-5の処理を行って、タイマカウンタ t_m を起動すると共に、フラグ $f/sld/stb$ の値を「0」に設定する。

【0354】また、STEP9-3の判断で、線形関数 σ バーの今回値 $\sigma(k+d)$ バーが、所定範囲内にある場合には、空燃比操作量決定部13は、前記タイマカウンタ t_m を所定時間 Δt_m 分、カウントダウンし（STEP9-6）、さらに、該タイマカウンタ t_m の値が「0」以下であるか否か、すなわち、タイマカウンタ t_m を起動してから前記初期値 T_m 分の所定時間が経過したか否かを判断する（STEP9-7）。

【0355】このとき、 $t_m > 0$ である場合、すなわち、タイマカウンタ t_m が計時動作中でまだタイムアップしていない場合は、STEP 9-2あるいはSTEP 9-3の判断で適応スライディングモード制御が不安定であると判断されてから、さほど時間を経過していない状態で、適応スライディングモード制御が不安定なものとなりやすいので、前記STEP 9-5の処理を行って前記フラグ $f/sl d/stb$ の値を「0」に設定する。

【0356】そして、STEP 9-7の判断で $t_m \leq 0$ である場合、すなわち、タイマカウンタ t_m がタイムアップしている場合には、適応スライディングモード制御が安定であるとして、フラグ $f/sl d/stb$ の値を「1」（ $f/sl d/stb = 1$ は適応スライディングモード制御が安定であることを示す）に設定する（STEP 9-8）。

【0357】以上のような処理によって、スライディングモード制御器27による適応スライディングモード制御の安定性が判断され、不安定であると判断した場合には、フラグ $f/sl d/stb$ の値が「0」に設定され、安定であると判断した場合には、フラグ $f/sl d/stb$ の値が「1」に設定される。

【0358】尚、本実施形態では、適応スライディングモード制御の安定性の判断は、基本的には、前記STEP 9-2及び9-3の条件判断で行うようにしたが、いずれか一方の条件判断（例えばSTEP 9-2のみの条件判断）で行うようにしてもよく、あるいは、線形関数 σ パーの変化速度に相当する前記偏差 $\Delta\sigma$ パーの大きさ（絶対値）を所定値と比較することで、適応スライディングモード制御の安定性の判断を行うようにすることも可能である。

【0359】図9に戻って、上記のようにスライディングモード制御器27による適応スライディングモード制御の安定性を示すフラグ $f/sl d/stb$ の値を設定した後、空燃比操作量決定部13は、フラグ $f/sl d/stb$ の値を判断する（STEP 10）。このとき、 $f/sl d/stb = 1$ である場合、すなわち、適応スライディングモード制御が安定であると判断された場合には、スライディングモード制御器27によって、前記STEP 8で算出されたSLD操作入力 u_{sl} のリミット処理が行われる（STEP 11）。このリミット処理では、SLD操作入力 u_{sl} の値や、その値の変化幅が所定範囲に制限され、STEP 8で算出されたSLD操作入力 u_{sl} の今回値 $u_{sl}(k)$ が所定の上限值又は下限値を超えている場合には、それぞれ、SLD操作入力 u_{sl} の値が強制的に該上限値又は下限値に設定される。また、STEP 8で算出されたSLD操作入力 u_{sl} の今回値 $u_{sl}(k)$ の前回値 $u_{sl}(k-1)$ からの変化量が所定量を超えている場合には、SLD操作入力 u_{sl} の値が強制的に前回値 $u_{sl}(k-1)$ に該所定量を加えた値に設定される。

【0360】そして、空燃比操作量決定部13は、上記のようなSLD操作入力 u_{sl} のリミット処理の後、スラ

イディングモード制御器27によって、前記式(33)に従って前記目標空燃比 K_{CMD} を算出せしめ（STEP 13）、今回の制御サイクルの処理を終了する。

【0361】また、前記STEP 10の判断で $f/sl d/stb = 0$ である場合、すなわち、適応スライディングモード制御が不安定であると判断された場合には、空燃比操作量決定部13は、今回の制御サイクルにおけるSLD操作入力 u_{sl} の値を強制的に所定値（固定値あるいはSLD操作入力 u_{sl} の前回値）に設定した後（STEP 12）、スライディングモード制御器27によって、前記式(33)に従って前記目標空燃比 K_{CMD} を算出せしめ（STEP 13）、今回の制御サイクルの処理を終了する。

【0362】尚、STEP 13で最終的に決定される目標空燃比 K_{CMD} は、制御サイクル毎に図示しないメモリに時系列的に記憶保持される。そして、前記大局的フィードバック制御器17等が、空燃比操作量決定部13で決定された目標空燃比 K_{CMD} を用いるに際しては（図7のSTEP fを参照）、上記のように時系列的に記憶保持された目標空燃比 K_{CMD} の中から最新のものが選択される。

【0363】以上説明した内容が本実施形態の装置の詳細な作動である。

【0364】すなわち、その作動を要約すれば、基本的には空燃比操作量決定部13によって、触媒装置3の下流側の O_2 センサ6の出力 $VO2/OUT$ （これはブラントとしての対象排気系Eの出力に相当する）を目標値 $VO2/TARGET$ に収束（整定）させるように、触媒装置3に進入する排ガスの目標空燃比 K_{CMD} （これは、対象排気系Eの目標入力に相当する）が逐次決定される。さらに、この目標空燃比 K_{CMD} に従って、対象排気系Eへの入力（排ガスの空燃比）を生成するアクチュエータとしてのエンジン1の燃料噴射量を目標空燃比 K_{CMD} 及び触媒装置3の上流側のLAFセンサ5の出力 $KACT$ に基づき調整することで、エンジン1の空燃比が目標空燃比 K_{CMD} にフィードバック制御される。そして、上記のように触媒装置3の下流側の O_2 センサ6の出力 $VO2/OUT$ を目標値 $VO2/TARGET$ に整定させることで、触媒装置3の経時劣化等によらずに、触媒装置3の最適な排ガス浄化性能を確保することができる。

【0365】この場合、空燃比操作量決定部13は、本来的に外乱等の影響を受けにくいという特性を有するスライディングモード制御を用い、特に外乱等の影響を極力排除するための適応則を付加した適応スライディングモード制御を用いて前記目標空燃比 K_{CMD} （対象排気系Eの目標入力）を決定するため、 O_2 センサ6の出力 $VO2/OUT$ （対象排気系Eの出力）を目標値 $VO2/TARGET$ に整定させる上での確な目標空燃比 K_{CMD} を外乱等の影響を極力抑えて安定して求めることができ、ひいては、 O_2 センサ6の出力 $VO2/OUT$ の目標値 $VO2/TARGET$ への制御を安定して精度よく行うことができる。

【0366】特に、空燃比操作量決定部13のスライディングモード制御器27が適応スライディングモード制御により目標空燃比 $KCMD$ を決定するに際しては、推定器26により求められた推定偏差出力 $V02$ 、すなわち対象排気系Eの無駄時間 $d1$ と前記空燃比操作系（エンジン1及び機関側制御ユニット7bからなるシステム）の無駄時間 $d2$ とを合わせた合計無駄時間 d 後の O_2 センサ6の偏差出力 $V02$ の推定値を用い、その推定偏差出力 $V02$ により示される合計無駄時間 d 後の O_2 センサ6の出力 $V02/OUT$ （対象排気系Eの出力）の推定値を目標値 $V02/TARGET$ に収束させるように目標空燃比 $KCMD$ （対象排気系Eの目標入力）が決定される。このため、対象排気系Eに存する無駄時間 $d1$ だけでなく前記空燃比操作系が有する無駄時間 $d2$ の影響も補償（排除）され、 O_2 センサ6の出力 $V02/OUT$ の目標値 $V02/TARGET$ への制御の安定性を高めることができる。

【0367】しかも、前記空燃比操作系の無駄時間 $d2$ の設定値は、エンジン1の最低速側の回転数であるアイドル回転数において空燃比操作系が採り得る無駄時間に等しいか、もしくはそれよりも若干長い一定値に設定しているため、エンジン1のほぼ全ての回転数において、空燃比操作系の無駄時間の影響を補償することができ、エンジン1の回転数によらずに O_2 センサ6の出力 $V02/OUT$ の目標値 $V02/TARGET$ への制御の安定性を確保することができる。同時に、空燃比操作系の無駄時間 $d2$ の設定値を一定値に設定することで、推定器26等における演算処理も容易に行うことができる。

【0368】さらに、本実施形態における推定器26は、その推定演算の基本式である前記式（15）中の目標偏差空燃比 $kcmd$ の時系列データのうち、実空燃比に相当する LAF センサ5の偏差出力 $kact$ に置き換え可能なもの（無駄時間 $d2$ 以前のもの）については全て、該偏差出力 $kact$ により置き換えた式（16）により O_2 センサ6の推定偏差出力 $V02$ バーを求めるので、エンジン1の実際の挙動状態に即した推定偏差出力 $V02$ バーを得ることができる。この結果、推定偏差出力 $V02$ バーの信頼性を高め、ひいては、 O_2 センサ6の出力 $V02/OUT$ の目標値 $V02/TARGET$ への収束制御の安定性を高めることができる。

【0369】また、本実施形態では、対象排気系Eの離散系モデルのパラメータである前記ゲイン係数 $a1, a2, b1$ を同定器25を用いてリアルタイムで同定することで、それらのゲイン係数 $a1, a2, b1$ により定まる離散系モデルの実際の対象排気系Eに対するモデル化誤差を実際の対象排気系Eの挙動状態に則して最小限に留めることができる。そして、該同定器25で同定したゲイン係数 $a1, a2, b1$ を用いてスライディングモード制御器27や推定器26の演算処理を行って目標空燃比 $KCMD$ （対象排気系Eの目標入力）を決定することで、対象排気系Eの実際の挙動状態に則した的確な目標空燃比 $KCMD$ を決定すること

ができ、ひいては、 O_2 センサ6の出力 $V02/OUT$ の目標値 $V02/TARGET$ への収束制御の精度を高めることができる。

【0370】さらに、前記ゲイン係数 $a1, a2, b1$ を同定器25により同定するに際しては、それらの値を前記第1及び第2制限条件によって前述の如く制限するため、スライディングモード制御器27が求める目標空燃比 $KCMD$ が高周波振動的なものとなるような事態を排除することができる。この結果、 O_2 センサ6の出力 $V02/OUT$ の目標値 $V02/TARGET$ への安定した制御性を確保しつつ、エンジン1の運転状態も滑らかで安定したものとするることができる。

【0371】尚、本発明、特に本発明の内燃機関の排気系の空燃比制御装置は、前述した実施形態に限定されるものではなく、例えば次のような変形態様も可能である。

【0372】すなわち、前記実施形態では、空燃比操作系（エンジン1及び機関側制御ユニット7bからなるシステム）の無駄時間 $d2$ （第2無駄時間）を一定値に設定したが、該空燃比操作系の実際の無駄時間が前記図4に示したようにエンジン1の回転数に応じて変化することに合わせて、無駄時間 $d2$ の設定値をエンジン1の回転数に応じて可変的に定めるようにしてもよい。この場合には、例えば図21に示すように無駄時間 $d2$ の設定値（制御サイクル数で表したもの）を、エンジン1の回転数が高くなるに従い、段階的に小さくなるように定めておく。そして、前記実施形態の推定器26及びスライディングモード制御器27の制御サイクル毎の演算処理（STEP7, 8の処理）において、エンジン1の回転数NEの検出値から図21のデータテーブルによって無駄時間 $d2$ の設定値を求め、この求めた無駄時間 $d2$ の設定値、前記対象排気系Eの無駄時間 $d1$ の設定値（一定値）、並びにそれらの合計無駄時間 $d (= d1 + d2)$ とを用いて前述の演算処理（図18, 19の処理）を行うようにすればよい。尚、この場合、無駄時間 $d2$ の設定値は、それが一定となるエンジン1の回転数範囲では、該回転数範囲において空燃比操作系が実際に採り得る最大側の無駄時間と等しいか、もしくはそれよりも若干長いものに定めておく。

【0373】このように空燃比操作系の無駄時間 $d2$ をエンジン1の回転数に応じて可変的に設定するようにしても、エンジン1の回転数によらずに、空燃比操作系の無駄時間の影響を、対象排気系Eの無駄時間の影響と併せて適正に補償し、 O_2 センサ6の出力 $V02/OUT$ の目標値 $V02/TARGET$ への制御性を高めることができる。

【0374】尚、空燃比操作系の無駄時間 $d2$ を可変的に設定する場合、エンジン1の回転数だけでなく、さらにエンジン1の吸気圧 PB 等、エンジン1の負荷も考慮し、該回転数及び負荷の両者に応じて無駄時間 $d2$ を可変的に設定することも可能である。

【0375】また、前記実施形態では、空燃比操作系の無駄時間 d_2 をエンジン1のアイドル回転数に対応させた一定値に設定するようにしたが、エンジン1のアイドル回転数以外の回転数領域に対応させて無駄時間 d_2 を設定するようにしてもよい。例えば前記排気側制御ユニット7aを用いたエンジン1の空燃比制御をエンジン1のある回転数領域でのみ行うような場合には、その回転数領域で空燃比操作系が採り得る実際の無駄時間に合せて、無駄時間 d_2 を前述の如く一定値に設定したり、あるいは可変的に設定するようにすればよい。

【0376】また、前記実施形態では、 O_2 センサ6の推定偏差出力 V_{O2} パーを推定器26により制御サイクル毎に求めるに際しては、式(15)中の目標偏差空燃比 k_{cmd} の時系列データのうち、空燃比操作系の無駄時間 d_2 以前のものについては全て、 LAF センサ5の偏差出力 k_{act} に置き換えた式(16)により推定偏差出力 V_{O2} パーを求めるようにしたが、式(15)中の無駄時間 d_2 以前の目標偏差空燃比 k_{cmd} の時系列データのうちの一部分のみを LAF センサ5の偏差出力 k_{act} に置き換えた式によって推定偏差出力 V_{O2} パーを求めるようにしてもよい。あるいは、この置き換えを行わず、式(15)をそのまま用いて推定偏差出力 V_{O2} パーを求めるようにしてもよい。

【0377】また、前記実施形態では、第2排ガスセンサとして、 LAF センサ(広域空燃比センサ)5を用いたが、第2排気ガスセンサは排ガスの空燃比を検出できるものであれば、通常の O_2 センサ等、他の形式のセンサを用いてもよい。

【0378】また、前記実施形態では、第1排ガスセンサとして O_2 センサ6を用いたが、第1排ガスセンサは、制御すべき触媒装置下流の排ガスの特定成分の濃度を検出できるセンサであれば、他のセンサを用いてもよい。すなわち、例えば触媒装置下流の排ガス中の一酸化炭素(CO)を制御する場合は CO センサ、窒素酸化物(NO_x)を制御する場合には NO_x センサ、炭化水素(HC)を制御する場合には HC センサを用いる。三元触媒装置を使用した場合には、上記のいずれのガス成分の濃度を検出するようにしても、触媒装置の浄化性能を最大限に発揮させるように制御することができる。また、還元触媒装置や酸化触媒装置を用いた場合には、浄化したいガス成分を直接検出することで、浄化性能の向上を図ることができる。

【0379】また、前記実施形態では、同定器25、推定器26、スライディングモード制御器27の演算処理において、 LAF センサ5の偏差出力 k_{act} や O_2 センサ6の偏差出力 V_{O2} 、目標偏差空燃比 k_{cmd} を用いたが、 LAF センサ5の出力 $KACT$ や O_2 センサ6の出力 V_{O2}/OUT 、目標空燃比 $KCMD$ をそのまま用いて同定器25、推定器26、スライディングモード制御器27の演算処理を行うようにすることも可能である。さらに、偏差出力 ka

ct や目標空燃比 $KCMD$ に係わる前記基準値 $FLAF/BASE$ は必ずしも一定値とする必要はなく、該基準値 $FLAF/BASE$ をエンジン1の回転数 NE や吸気圧 PB 等に応じて設定するようにしてもよい。

【0380】また、前記実施形態では、空燃比操作量決定部13により決定する操作量を目標空燃比 $KCMD$ (対象排気系Eの目標入力)とし、その目標空燃比 $KCMD$ に従ってエンジン1の空燃比をフィードバック制御するようにしたが、例えばエンジン1の燃料供給量の補正量を空燃比操作量決定部13により決定するようにすることも可能であり、また、目標空燃比 $KCMD$ からフィードフォワード的にエンジン1の燃料供給量を調整してエンジン1の空燃比を制御するようにすることも可能である。

【0381】また、前記実施形態では、スライディングモード制御器27は、外乱の影響を考慮した適応則を有する適応スライディングモード制御を用いたが、該適応則を省略した一般のスライディングモード制御を用いるようにしてもよい。

【0382】また、前記実施形態では、対象排気系Eの離散系モデルのゲイン係数 a_1 、 a_2 、 b_1 を同定器25により同定するようにしたが、それらの値をあらかじめ定めた固定値に設定したり、あるいは、エンジン1の運転状態や触媒装置3の劣化状態等に応じてマップ等を用いて適宜設定するようにしてもよい。

【0383】また、前記実施形態では、同定器25により同定した対象排気系Eの離散系モデルのゲイン係数 a_1 、 a_2 、 b_1 を用いてスライディングモード制御器27により目標空燃比 $KCMD$ を決定するようにしたが、適応制御器等の他の漸化式形式の制御器により同定されたゲイン係数 a_1 、 a_2 、 b_1 を用いて目標空燃比 $KCMD$ を決定するようにしてもよく、さらには、同定されたゲイン係数 a_1 、 a_2 、 b_1 もしくはそれらの設定値を用いて目標空燃比 $KCMD$ を決定し得るものであれば、ファジー制御器やニューラルネットワーク型の制御器を用いてよい。

【0384】また、本発明のプラントの制御装置に関し、前記実施形態では、内燃機関の排気系の制御装置を例にとって説明したが、本発明のプラントの制御装置は前記実施形態に限られるものではない。

【0385】以下に本発明のプラントの制御装置の他の一実施形態を図22を参照して説明する。

【0386】図22において、30はプラントであり、このプラント30には、流量制御器31(アクチュエータ)により流量を調整可能なアルカリ液が入力される。そして、該プラント30は、与えられたアルカリ液に酸性液を合流させ、それを攪拌器32により攪拌してなる混合液を出力するものである。

【0387】本実施形態の制御装置は、このようなプラント30が出力する混合液(アルカリ液と酸性液との混合液)の pH が所望の pH (例えば中性に相当する pH 値)になるようにプラント30に入力されるアルカリ液

の流量を制御するもので、その制御のために次のような構成を備えている。

【0388】すなわち、本実施形態の制御装置は、プラント30の出力側に該プラント30の出力である前記混合液のpHを検出するべく設けられたpHセンサ33（第1検出手段）と、プラント30の入力側に該プラントの入力であるアルカリ液の流量を検出するべく設けられた流量センサ34（第2検出手段）と、これらのpHセンサ33及び流量センサ34のそれぞれの出力 $V1/OUT$ 、 $V2/OUT$ に基づき後述の演算処理を行う制御ユニット35とを具備する。

【0389】制御ユニット35は、マイクロコンピュータ等により構成されたもので、pHセンサ33の出力 $V1/OUT$ とその目標値 $V1/TARGET$ （これは前記混合液の目標pHに相当する）との偏差 $V1 (= V1/OUT - V1/TARGET)$ をpHセンサ33の出力を示すデータとして算出する減算処理部36と（以下、偏差 $V1$ をpHセンサ33の偏差出力 $V1$ という）、流量センサ34の出力 $V2/OUT$ と所定の基準値 $V2/REF$ （これは任意に設定してよい）との偏差 $V2 (= V2/OUT - V2/REF)$ を流量センサ34の出力を示すデータとして算出する減算処理部37と（以下、偏差 $V2$ を流量センサ34の偏差出力 $V2$ という）、上記偏差出力 $V1$ 、 $V2$ に基づいて、pHセンサ33の出力 $V1/OUT$ をその目標値 $V1/TARGET$ に収束させるためにプラント30に与えるべきアルカリ液の目標流量 $V2CMD$ をプラント30への入力を規定する操作量として決定する操作量決定部38と、流量センサ34の出力 $V2/OUT$ （検出流量）を目標流量 $V2CMD$ に一致させるように前記流量制御器31の動作量をフィードバック制御するフィードバック制御部39（アクチュエータ制御手段）とを具備する。

【0390】尚、以下の説明において、前記目標流量 $V2CMD$ の前記基準値 $V2/REF$ に対する偏差 $(= V2CMD - V2/REF)$ を目標偏差流量 $v2cmd$ （これは前述の実施形態における目標偏差空燃比 $kcmd$ に対応する）と称する。また、流量制御器31及びフィードバック制御部39を合わせたシステム、すなわち、目標流量 $V2CMD$ から流量センサ34が検出する流量のアルカリ液を生成するシステムを流量操作系（これは前述の実施形態における空燃比操作系に対応する）と称する。

【0391】前記操作量決定部38は、前述の実施形態の空燃比操作量決定部13と同様に同定器、推定器及びスライディングモード制御器（図示しない）を備えている。そして、操作量決定部38は、例えば前記式（1）の $VO2$ 、 $kact$ をそれぞれ前記偏差出力 $V1$ 、 $V2$ で置き換えて成るプラント30の離散系モデルと、前記式（2）の $kact$ 、 $kcmd$ をそれぞれ前記偏差出力 $V2$ 、目標偏差流量 $v2cmd$ で置き換えて成る前記流量操作系の離散系モデルとを用い、該空燃比操作量決定部13の同定器25、推定器26及びスライディングモード制御器27と同様の演算処理を行う。

【0392】すなわち、操作量決定部38は、プラント30の離散系モデルのパラメータの同定値（これは前述の実施形態における同定ゲイン係数 $a1$ ハット、 $a2$ ハット、 $b1$ ハットに対応する）の算出や、プラント30に存する無駄時間と流量操作系に存する無駄時間とを合わせた合計無駄時間後のpHセンサ33の出力 $V1/OUT$ もしくは偏差出力 $V1$ の推定値（これは前述の実施形態における推定偏差出力 $VO2$ パーに対応する）の算出、上記パラメータの同定値やpHセンサ33の出力 $V1/OUT$ もしくは偏差出力 $V1$ の推定値を用いた前記目標流量 $V2CMD$ （これは前述の実施形態における目標空燃比 $kcmd$ に対応する）の算出を行う。

【0393】この場合、プラント30のモデルにおける無駄時間（第1無駄時間）の設定値は、プラント30の実際の無駄時間以上となるような時間（例えば一定値）に実験等を通じて定めておけばよい。また、流量操作系のモデルにおける無駄時間（第2無駄時間）の設定値は、流量制御器31の動作特性を考慮し、流量操作系の実際の無駄時間以上となるような時間（例えば一定値）に実験等を通じて定めておけばよい。あるいは、流量操作系の無駄時間が流量制御器31の動作状態によって、大きく変化するような場合には、それに合わせて、流量操作系のモデルにおける無駄時間の設定値を流量制御器31の動作状態に応じて可変的に定めるようにしてもよい。

【0394】また、前述した実施形態のように、同定器による同定を行うプラント30の離散系モデルのパラメータの値を制限するに際しては、pHセンサ33の出力 $V1/OUT$ の目標値 $V1/TARGET$ への制御性や、前記目標流量 $V2CMD$ の安定性もしくはそれに応じた流量制御器31の動作の安定性等を考慮して、実験やシミュレーションを通じて上記パラメータの値もしくはその組み合わせを制限するための条件を前述の実施形態と同様に設定すればよい。

【0395】尚、前記フィードバック制御部39は、例えば前述の実施形態の大局的フィードバック制御部15と同様に、図示しないPID制御器あるいは適応制御器等により、流量センサ34の出力 $V2/OUT$ （検出流量）が前記目標流量 $V2CMD$ に一致するように流量制御器31の動作をフィードバック制御する。

【0396】このような本実施形態の装置によれば、プラント30に与えられるアルカリ液のpHや、該アルカリ液にプラント30内で混合する酸性液のpH、該酸性液の流量を把握せずとも、外乱の影響やプラント30に存する無駄時間の影響によらずに、適応スライディングモード制御を用いて精度よくpHセンサ33の出力 $V1/OUT$ 、すなわちプラント30が生成する混合液のpHを所望のpHに制御することができる。

【0397】尚、本実施形態のプラントの制御装置は、前記空燃比制御装置の実施形態について説明した変形態

様と同様の各種の変形態様が可能である。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の内燃機関の空燃比制御装置及びプラントの制御装置の一実施形態の全体的システム構成図。

【図2】図1の装置で使用するO₂センサの出力特性図。

【図3】図1の装置の空燃比操作量決定部の基本構成を示すブロック図。

【図4】図1の装置のエンジン側のシステムの無駄時間を説明するための線図。

【図5】図1の装置で用いるスライディングモード制御を説明するための説明図。

【図6】図1の装置の適応制御器の基本構成を示すブロック図。

【図7】図1の装置のエンジンの燃料制御に係わる処理を説明するためのフローチャート。

【図8】図7のフローチャートにおけるサブルーチン処理を説明するためのフローチャート。

【図9】図1の装置の空燃比操作量決定部の全体的処理を説明するためのフローチャート。

【図10】図9のフローチャートのサブルーチン処理を説明するためのフローチャート。

【図11】図9のフローチャートのサブルーチン処理を説明するためのフローチャート。

【図12】図9のフローチャートのサブルーチン処理を説明するためのフローチャート。

【図13】図12のフローチャートの部分的処理を説明するための説明図。

【図14】図12のフローチャートの部分的処理を説明するための説明図。

*【図15】図12のフローチャートの部分的処理を説明するための説明図。

【図16】図12のフローチャートのサブルーチン処理を説明するための説明図。

【図17】図9のフローチャートのサブルーチン処理を説明するためのフローチャート。

【図18】図9のフローチャートのサブルーチン処理を説明するためのフローチャート。

【図19】図9のフローチャートのサブルーチン処理を説明するためのフローチャート。

【図20】図9のフローチャートのサブルーチン処理を説明するためのフローチャート。

【図21】図1の装置の制御処理の変形態様を説明するための説明図。

【図22】本発明のプラントの制御装置の他の実施形態の全体的システム構成図。

【符号の説明】

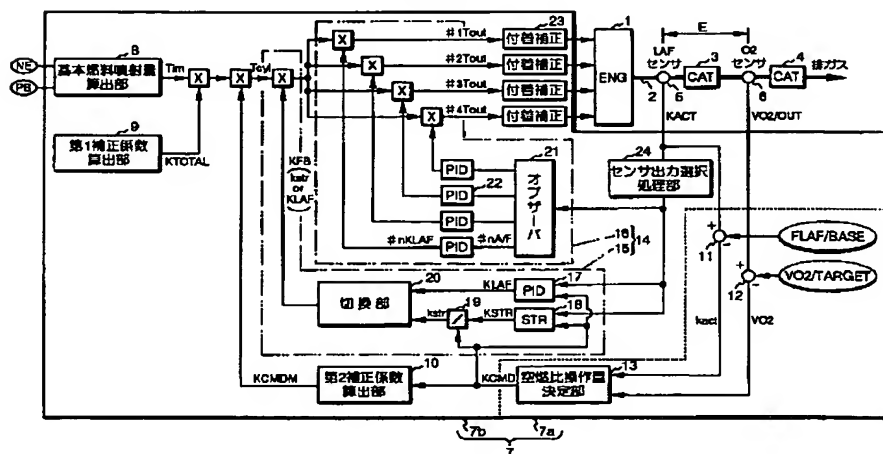
1…エンジン（内燃機関、アクチュエータ）、3…触媒装置、E…対象排気系（プラント）、5…広域空燃比センサ（第2排ガスセンサ、第2検出手段）、6…O₂センサ（第1排ガスセンサ、第1検出手段）、7a…排気側制御ユニット（操作量決定手段）、7a…機関側制御ユニット（機関制御手段、アクチュエータ制御手段）、18…適応制御器、26…推定器（推定手段）、27…スライディングモード制御器、30…プラント、31…流量制御器（アクチュエータ）、33…pHセンサ（第1検出手段）、34…流量センサ（第2検出手段）、38…操作量決定部（操作量決定手段）、39…フィードバック制御部（アクチュエータ制御手段）。

20

* 30

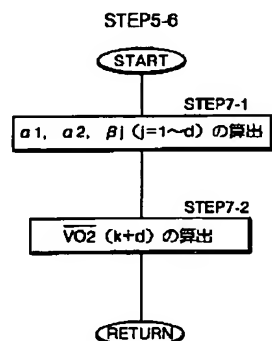
【図1】

FIG. 1



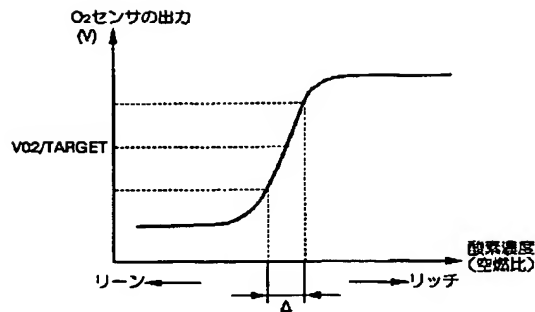
【図18】

FIG. 18



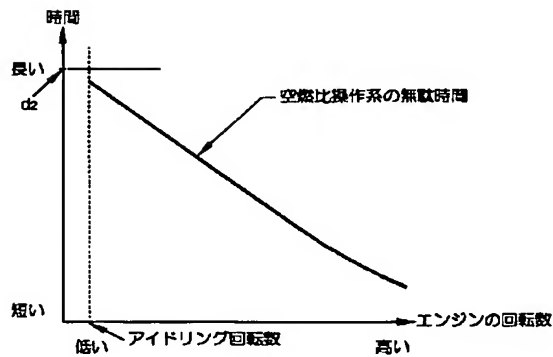
【図2】

FIG. 2



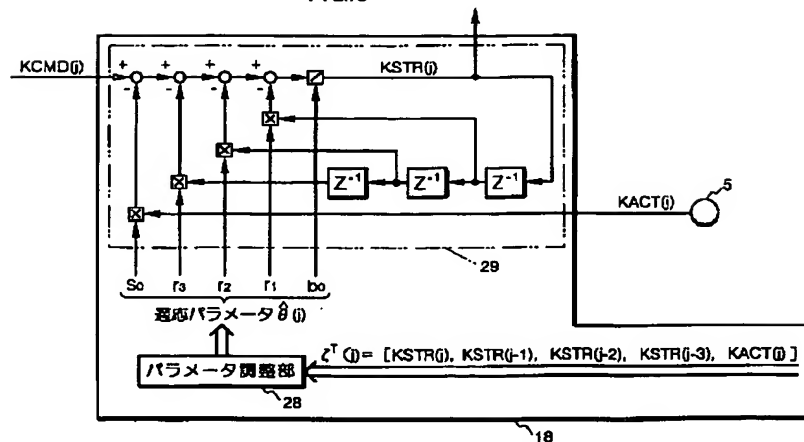
【図4】

FIG. 4



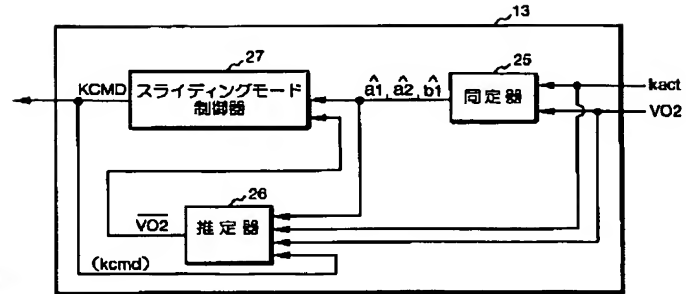
【図6】

FIG. 6



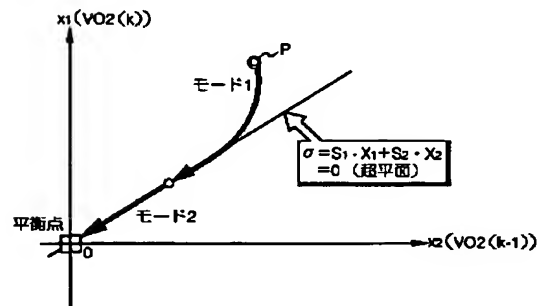
【図3】

FIG. 3



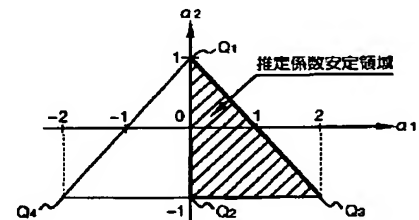
【図5】

FIG. 5

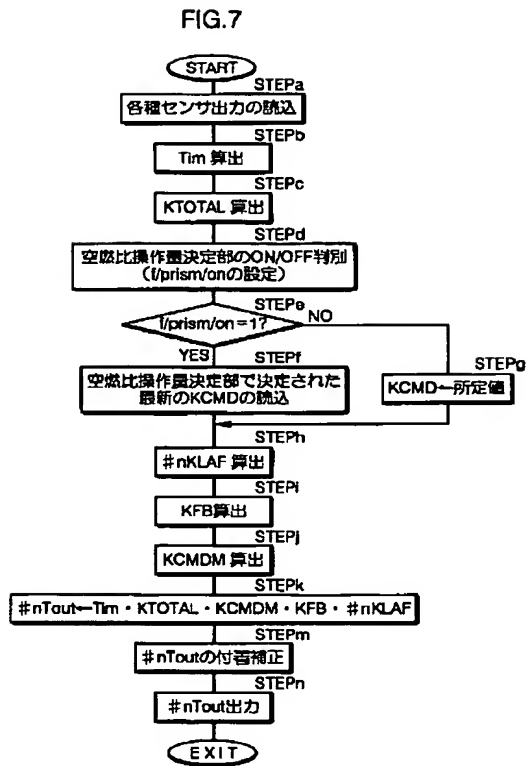


【図14】

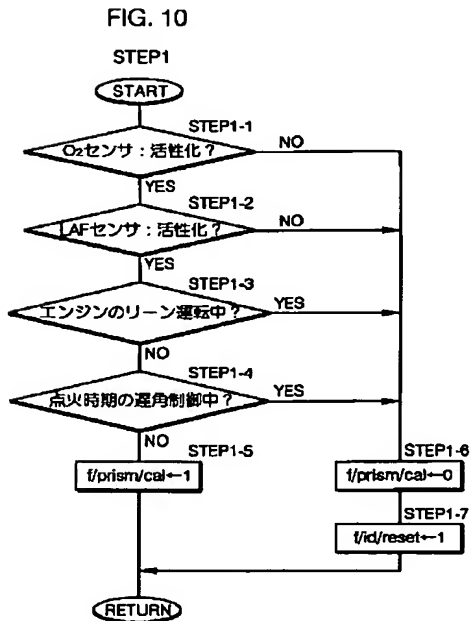
FIG. 14



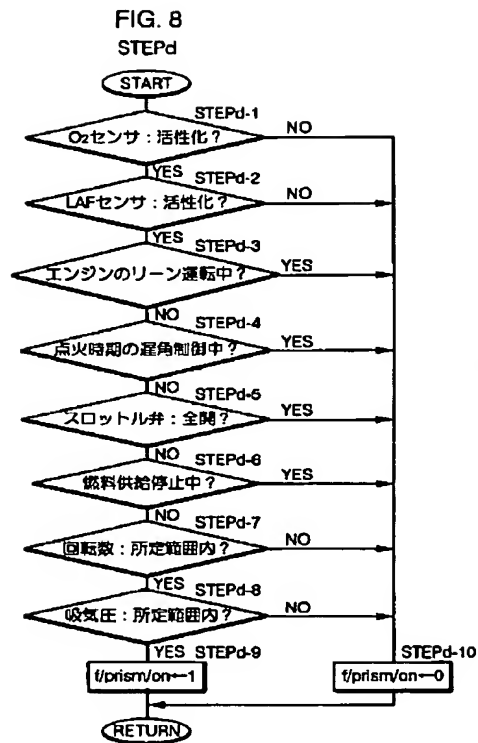
【図7】



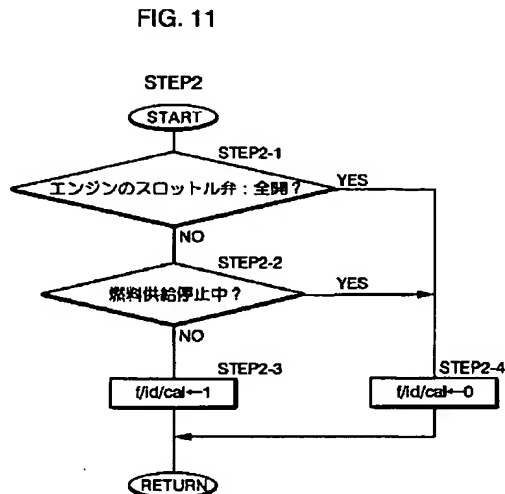
【図10】



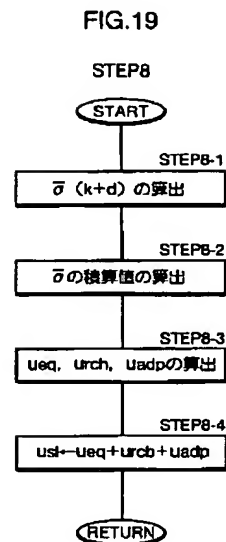
【図8】



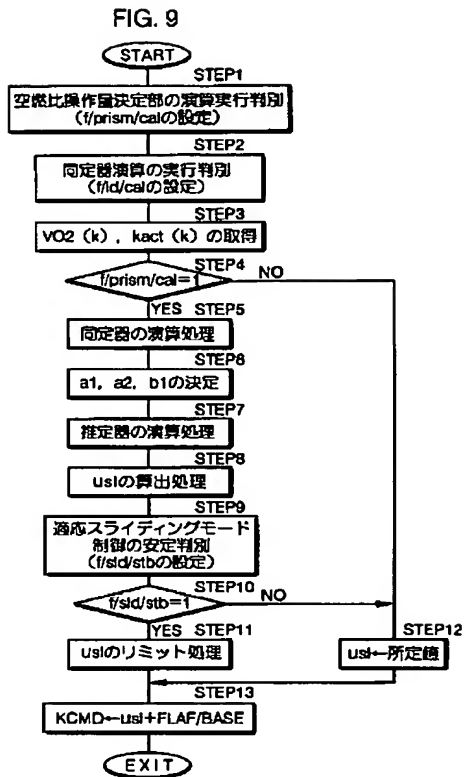
【図11】



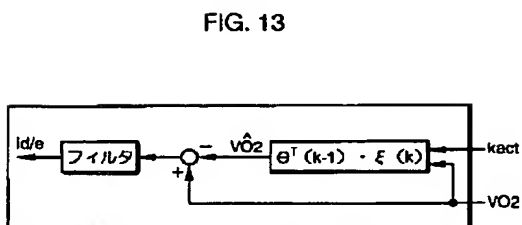
【図19】



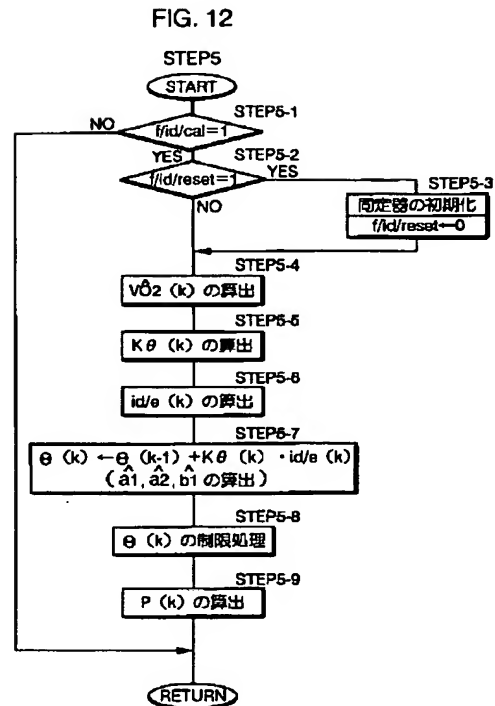
【図9】



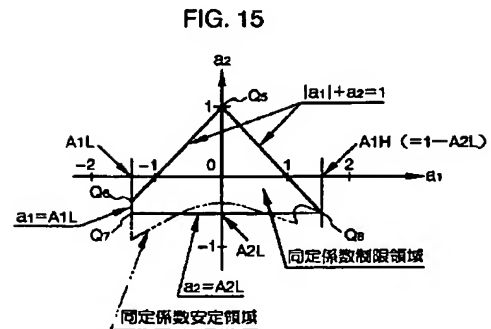
【図13】



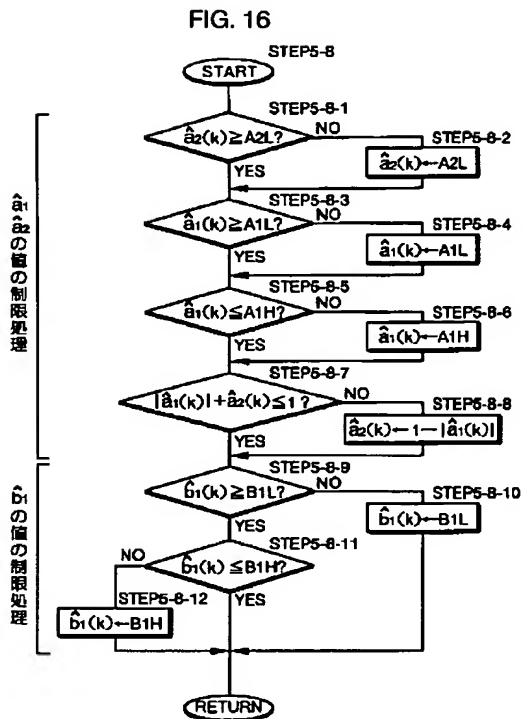
【図12】



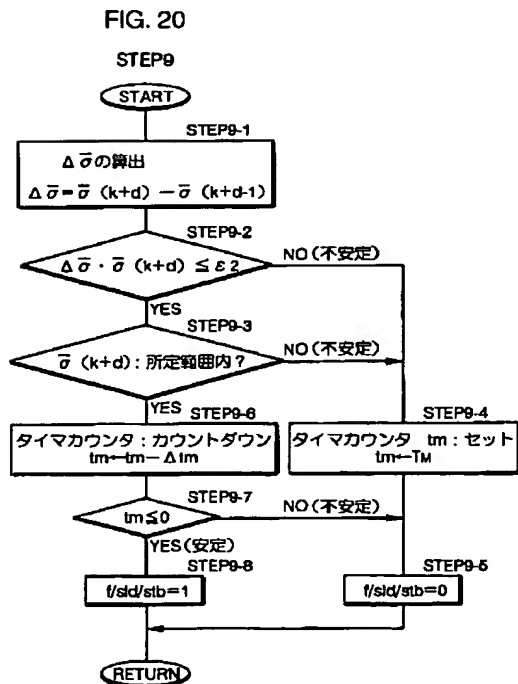
【図15】



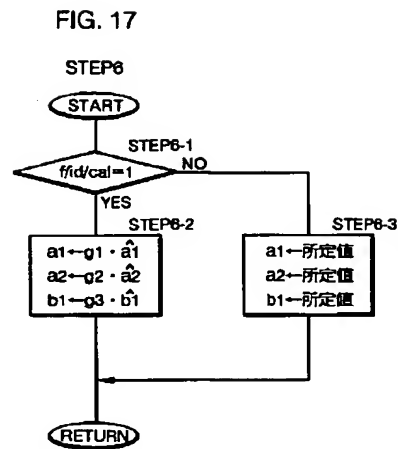
【図16】



【図20】

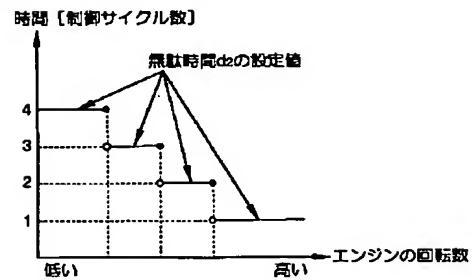


【図17】



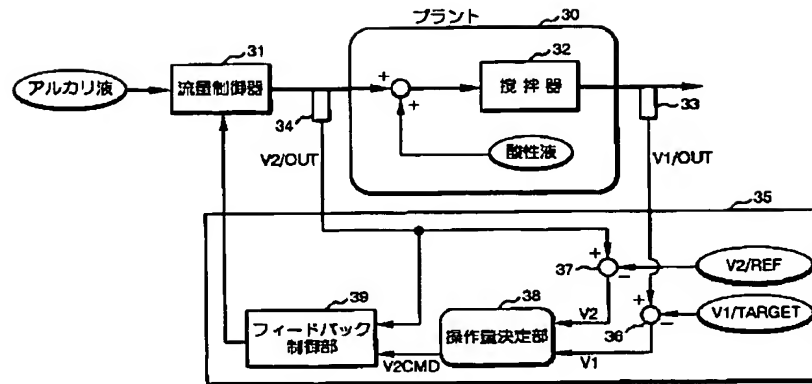
【図21】

FIG. 21



【図22】

FIG. 22



フロントページの続き

(51)Int.Cl.⁶
// G 0 5 B 11/36

識別記号

F I
G 0 5 B 11/36

M